Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова
Российской академии наук
Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля
Российской академии наук
Научно-исследовательский институт физико-химической
биологии имени А.Н. Белозерского
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова

А. В. КЕССЕНИХ
В. В. ПТУШЕНКО

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ИНТЕРЬЕРЕ ВЕКА:
БИОГРАФИИ И ПУБЛИКАЦИИ



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2019

УДК 543.429.2; 07.00.10
ББК 22.3г; 22.334
К 36

Кессених А.В., Птушенко В.В. **Магнитный резонанс в интерьере века: биографии и публикации.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. — 232 с. — ISBN 978-5-9221-1855-2.

Книга посвящена 75-летию открытия магнитного резонанса и представляет собой историко-библиографический очерк развития исследований в этой области науки. Рассмотрена роль выдающихся физиков Е.К. Завойского, Э.М. Парселла и Ф. Блоха в открытии и изучении магниторезонансных явлений, описываются их биографии и оценка результатов этих изысканий научной общественностью. Показано развитие магниторезонансных исследований, расширение области их приложений в СССР после открытия. Приведен обширный библиографический материал, содержащий свыше 1000 ссылок на избранные оригинальные и обзорные, а также исторические публикации, посвященные теории, открытиям, исследованиям и важнейшим применениям эффектов магнитного резонанса.

Книга адресована как специалистам в области магнитного резонанса и его применений в физике, химии и биологии, так и широкому кругу читателей, интересующихся историей науки.

В оформлении переплета использованы фотографии из архива Нобелевского фонда и личных архивов Н.Е. Завойской, И.И. Силкина и авторов. Подробнее см. в тексте.

Рукопись утверждена и рекомендована к изданию решением ученого совета Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН от 23 мая 2019 г.

Рецензент:

заведующий лабораторией квантово-механических усилителей и генераторов
Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
доктор физ.-мат. наук, профессор *В.А. Ацаркин*

ISBN 978-5-9221-1855-2

Оглавление

Предисловие

В 2019 г. исполняется 75 лет с момента открытия Е. К. Завойским первого из магнитно-резонансных эффектов в конденсированной среде — электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), открывшего невиданные ранее возможности для проникновения исследователей в проблемы строения вещества, физики взаимодействий, механизма химических реакций, природу биологических процессов, загадки геологических процессов и многие-многие другие области современной науки. В начале 2021 г. столько же лет исполнится и открытию ядерного магнитного резонанса Э. М. Парселлом[1)] и Ф. Блохом, лауреатами Нобелевской премии «За развитие новых тонких методов измерения магнитных свойств ядер и связанные с этим открытия».[2)][3)]

Столь серьезные юбилеи требуют серьезного анализа — если не всего пройденного пути (такая задача неразрешима в рамках одной-единственной книги), то, по крайней мере, первых шагов на нем, а также хотя бы некоторых наиболее существенных вех последующего развития. Не имея возможности (да и не ставя себе такую масштабную цель) создать полную картину развития физики в предвоенный период, приведшего к открытию магнитно-резонансных явлений, мы сконцентрировались прежде всего на личностях трех превопроходцев эпохи магнитного резонанса: Евгения Константиновича Завойского, Эдварда Миллса Парселла и Феликса Блоха. Разумеется, рождение новой области физики не может быть сведено к трем личностям, пусть и признанным открывателям этой новой области. Однако в их творческом пути, в логике их поисков и в обстоятельствах их работы (как научных, так и социальных), как нам кажется, концентрированно отражается вся история с ее успехами и провалами, важнейшими достижениями и принципиальными ограничениями и т. п.

В ходе работы над настоящей публикацией, кроме логики развития научного познания, нас интересовали и личностные мотивации первооткрывателей магнитного резонанса, а также исторические обстоятельства и социально-экономические условия, в которых эти открытия совершались.

[1)] В последние годы в русскоязычной литературе стало использоваться также написание Пёрселл.

[2)] Эдвард Майлз Пёрселл // Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия: Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1992. [Nobel Prize Winners. New York: The H.W. Wilson Company, 1987.]. /n-t.ru/nl/fz/purcell.htm/

[3)] Ф. Блох // Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия: Пер. с англ. с дополнениями. М: М.: Прогресс, 1992. [Nobel prize winners: an H. W. Wilson biographical dictionary. The H. W. Wilson Company, 1987]./n-t.ru/nl/fz/bloch.htm/

История открытия Завойского несет на себе трагический отпечаток пренебрежения к судьбе и таланту выдающегося исследователя[4]. Ему не позволили (не то что б просто не помогли, а именно не позволили) открывать ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Не было создано и условий для систематической работы талантливого исследователя в помощь фронту во время войны. Когда, невзирая на крайне стесненные обстоятельства, Евгений Константинович все же сумел первым в мире наблюдать ЭПР, он не получил для дальнейшего развертывания работ в Казани поддержки оборудованием и кадрами. С этой точки зрения было благом для отечественной науки и самого Завойского, что его вовлек с 1947 г. в свою орбиту И. В. Курчатов, «под крылом» которого он на долгие годы нашел лучшее материальное обеспечение для применения своих талантов физика, экспериментатора и изобретателя. Соратники Завойского по поискам ЯМР С. А. Альтшулер и Б. М. Козырев сумели постепенно создать школы физиков и физикохимиков в Казани, которые внесли в последующем весьма существенный вклад в исследования магниторезонансных явлений.

Условия для поисков ЯМР группами Парселла и Блоха, соответственно в Гарварде и Стэнфорде, выглядят просто великолепными. Еще более удачными можно считать условия для развертывания ими работ по изучению эффектов, сопутствующих ЯМР, и по применениям ЯМР. Работы Парселла по ЯМР пришлись на самый взлет его таланта и перемежались успешными исследованиями в других областях (радиоастрономии, распространении радиоволн и т. д.), в основе всех этих исследований лежали применения новейших тогда методов радиофизики. Работы группы Блоха были подхвачены приборостроительной фирмой «Вариан» и, можно сказать, легли в основу будущего расцвета приборостроения химической радиоспектроскопии ЯМР. Блоху удалось реализовать свои первоначальные планы в отношении определения магнитных моментов нейтрона и простейших нуклидов (изотопов водорода), а также наметить один из возможных путей построения квантово-статистической теории поведения ядерных моментов в образце.

Отдав должное первооткрывателям, мы сочли нужным упомянуть и других творцов эпохи магнитного резонанса, сделав краткий очерк истории ее первого десятилетия в СССР, неотделимой от развития исследований и разработок аппаратуры магнитного резонанса в эти годы за рубежом.

Наконец, в книге отдельно приведен обширный библиографический и отчасти историографический материал, содержащий свыше 800 ссылок на важнейшие оригинальные и обзорные, а также исторические публикации, посвященные теории, открытиям, исследованиям и важнейшим применениям эффектов магнитного резонанса. Он снабжен подробным описанием, общими и подстрочными комментариями и построен по тематически-хронологическому принципу: отдельно приведены оригинальные

[4] См.: Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е. К. Завойском. Новиков В. Д., Завойская Н. Е. (ред.-сост.). — М.: «Наука», 1993.

работы, отдельно — обзоры и монографии, отдельно — публикации по истории магнитного резонанса, а также ресурсы сети Интернет. Внутри каждой такой большой группы все работы сгруппированы по годам. Подробно структура списка литературы описана в комментариях к нему в 4-й главе. Заметим, что к каждой главе также приведен отдельный список литературы, построенный по классическому алфавитному принципу. Так, значительная часть работ российских авторов приведена в списке литературы к главе 3; в главе 4 мы ее не дублируем. Лишь некоторые цитируемые в первых трёх главах источники, для удобства чтения, дублируются в историографическом списке в главе 4.

Разумеется, даже столь обширный список литературы не может быть исчерпывающим (он на это и не претендует), но он показывает основные вехи развития исследований в области магнитного резонанса как в теории, так и в разнообразнейших приложениях экспериментальных методов. Несмотря на наше стремление к объективности, он, вероятно, несет на себе отпечаток личных интересов авторов, за что мы приносим читателю свои извинения.

Авторы благодарны Вл. П. Визгину за организацию обсуждений некоторых материалов нашей работы на Общемосковском семинаре по истории физики и механики, Н. Е. Завойской, К. А. Томилину и В. М. Березанской за помощь в подготовке публикации, Ю. И. Таланову за присланные материалы. Один из сюжетов, касающийся патента Блоха–Хансена, приобретенного фирмой «Вариан», был навеян давней мимолетной беседой одного из авторов с известным американским историком науки Лореном Грэхемом (см. также интервью с ним в «Независимой газете»[5]).

Также хотим подчеркнуть, что в изложении биографий трех первооткрывателей, и прежде всего Завойского, мы широко пользовались материалами исследований Н. Е. Завойской[6].

[5] Ваганов А. Технологии в идеологической западне. Интервью с заслуженным профессором в отставке Л. Грэхемом // «Независимая газета» № 17 (221) от 28.12.2011.

[6] Завойская Н. Е. История одного открытия. — М.: ООО «Группа ИТД», 2007. — 208 с.

Глава 1

Первооткрыватели магнитного резонанса в веществе

1. Е. К. Завойский (1907–1976) — первооткрыватель ЭПР

Парадоксальным образом имя Евгения Константиновича Завойского, автора одного из самых ярких открытий в физике XX века, относительно малоизвестно нашим соотечественникам — во всяком случае, в гораздо меньшей степени, чем имена его коллег-современников Капицы и Ландау, Семенова и Курчатова, Арцимовича и Кикоина, Скобельцына и Шальникова и др. Возможно, это обусловлено тем, что Е. К. Завойский всю свою жизнь оставался весьма нестандартным ученым, не вписывавшимся ни в какие стандартные схемы. Он не принадлежал ни к одной из крупных научных школ. Став академиком, он продолжал работать собственными руками. Имея замыслы развития науки всесоюзного масштаба, он никогда не стремился к карьерному росту, полагая свою должность заведующего сектором максимально допустимой для ученого, желающего оставаться ученым, а не «организатором науки». Принадлежа по должности, как и прочие академики, к «государевым людям», он не подписал письмо академиков против А. Д. Сахарова. При этом список сделанного им в науке, кроме самого яркого открытия нобелевского уровня — электронного парамагнитного резонанса — включает и создание целой области пикосекундной электронно-оптической фотохронографии, давшей возможность регистрации сверхбыстрых процессов в исследованиях плазмы, в ядерной физике, лазерной технике, астрономии и биологии; и разработку источников поляризованных ядер для ускорителей; и, конечно, одно из крупнейших открытий в физике плазмы — открытие турбулентного нагрева плазмы. Причем, глядя на вехи его биографии, можно смело сказать, что все это было отнюдь не благодаря, а вопреки складывавшимся вокруг него (и для него) обстоятельствам жизни и работы (рис. 1).

Будущий великий физик Е. К. Завойский родился в семье военного врача К. И. Завойского и его супруги Е. Н. Завойской в г. Могилеве-Подольском на Украине[1]. Фамилию род Завойских приобрел от одного из своих предков духовного сословия по месту жительства семейства — «за Воей» (река Воя — приток р. Вятки). Дед Евгения Константиновича первым

[1] Приведенные ниже сведения о семье и корнях Е. К. Завойского, с любезного разрешения Н. Е. Завойской, заимствованы нами из ее исследования, частично отраженного в рукописи [Завойская, 2017б].



Рис. 1. Е. К. Завойский. Источник: Архив РАН, фонд 1943

в роду перешел на светскую государственную службу, по долгу которой неоднократно переезжал. В г. Малмыж Вятской губернии у него родился сын — отец Евгения Константиновича — Константин. Константин Иванович окончил Военно-медицинскую академию в Санкт-Петербурге, служил военным врачом на Дальнем Востоке несколько лет до и во время Русско-японской войны. С 1908 г. семья жила в Казани, где К. И. Завойский служил врачом на пороховом заводе.

В семье, где рос Евгений Константинович, было пятеро детей (две сестры, два брата), он был третьим по возрасту. Отец служил во время Первой мировой войны в походном госпитале. Пришли события 1917–18 гг., когда условия жизни в Казани резко ухудшились, Константин Иванович скончался от тяжелой болезни. На какое-то время (1921–1925 гг.) семья переехала в Вятскую губернию в г. Слободской к сестре отца, где было легче с огородом, т. е. с проблемой выживания семьи. Там Женя учился, впервые увлекся радиолюбительством. Завершать образование детей все же лучше было в Казани, и семья вернулась к старшей сестре Татьяне Константиновне, которая оставалась там все эти годы.

Трудное положение семьи не помешало талантливому юноше успешно окончить среднюю школу и в 1926 г. поступить на физико-математический факультет Казанского государственного университета. Евгений Константинович издалека ходил на занятия пешком, донашивал вещи отца. На нем лежали тяжелые домашние обязанности, приходилось и подрабатывать. Преподаватели, тем не менее, быстро обнаружили замечательные способности студента Завойского, сам же он рано начал работать в лабораториях,



Рис. 2. В. А. Ульянин. 1928. Источник: Архив РАН, фонд 1943

много и охотно читал по специальности. Среди профессоров и преподавателей Казанского университета было несколько известных специалистов, опытных педагогов.

Решающее влияние на будущего физика оказал незаурядный физик-экспериментатор профессор Вячеслав Александрович Ульянин (1863–1931) (рис. 2). Сведения о жизни и работе Ульянина (которых сохранилось немного) собрала и опубликовала Н.Е. Завойская [Завойская, 1993б], здесь же мы перечислим только несколько из них. Ульянин учился в Дерпте (ныне Тарту), затем в Мюнхене и Страсбурге, где получил диплом доктора естественной философии. Среди его учителей были В. фон Бецольд, Й. Бишоф, В. фон Беетц, Э. Фойт. Но главным его учителем был, по-видимому, А. Кундт, у которого Ульянин дважды имел возможность работать, в конце 1880-х и в 1890-х гг. Знаменитый немецкий физик Август Кундт (1839–1894) был учеником Густава Магнуса, а наиболее известный из его учеников — Вильгельм Рентген, у которого в свою очередь учился «отец советской физики» А. Ф. Иоффе. Так «линии» Завойского и самых прославленных советских физиков смыкаются. В. А. Ульянин имел немало достижений в области экспериментальной физики, в том числе в изучении фотоэффекта, в создании аппаратуры с применением радиоламп. В 1928 г. Казань посетили участники VI съезда физиков СССР и иностранные гости этого съезда. Приветствовал их старейшина казанских физиков профессор В. А. Ульянин.

В 1929 г. появилась в журнале «Известия физико-математического кружка при КГУ» первая статья Е. Завойского «О газоэлектрических аналогиях». Учеба в университете успешно завершалась, и решили рекомендовать

Евгения Константиновича в аспирантуру, вопреки тому, что формально он был «нерабочекрестьянского происхождения». Профессор Ульянин добился зачисления Завойского в аспиранты и стал руководителем его работы, которую молодой физик решил посвятить изучению вещества с помощью ультракоротких радиоволн.

Четкая направленность работ молодого физика стала залогом его будущего успеха. Даже кончина Ульянина в 1931 г. не заставила Завойского отказаться от выбранного направления. Евгений Константинович отправился в Ленинград, где в известном тогда центре советской радиофизики — Центральной радиолаборатории под руководством Г. А. Остроумова — восемь месяцев изучал прием и генерацию ультракоротких волн. Руководство лаборатории предложило ему в качестве диссертационной темы изучение суперрегенеративного приемника, но молодой исследователь сочетал работу по этой более прикладной тематике с созданием лампового генератора радиоволн, амплитуда колебаний которого, а тем самым и ток сетки и анода, максимально зависели бы от добротности колебательного контура.

Поставленную перед собой задачу сочетать два направления Завойский успешно решил: в 1932–33 гг. он создал и изучил схему суперрегенератора на ультракоротких радиоволнах и одновременно создал установку, весьма чувствительную к свойствам вещества, заполняющего конденсатор колебательного контура. Теперь подобные схемы широко известны, тогда же Евгений Константинович стал одним из пионеров этого метода изучения поглощения радиоволн в веществе. Уже тогда он получил два авторских свидетельства на изобретения. Впрочем, изучая в коротковолновом и ультракоротковолновом диапазонах свойства электролитов и диэлектриков, ничего принципиально нового Завойский обнаружить не мог. Между тем уже из записей тех лет, которые чудом были разысканы И. И. Силкиным в лабораторных архивах, очевидно, что Евгений Константинович, выполняя исследования при разной частоте колебаний, искал именно резонансы, области повышенного поглощения электромагнитной энергии.

В 1933 г. Завойский защитил диссертацию и был назначен доцентом КГУ. Условия работы в университете к середине 1930-х годов довольно заметно ухудшились. Чехарда в смене заведующих кафедрой физики, деканов физмата и даже ректоров КГУ отрицательно сказывалась на обстановке среди физиков. Яркое впечатление об этих годах жизни КГУ Завойский отразил в своих воспоминаниях (цит. по: [Завойский, 1993]):

«В памяти сохранились обрывки впечатлений о ректорской чехарде. В беспорядке мелькают фамилии: Миславский, Галанза, Сегаль… <…> Но ректоры не задерживались и ретировались. Устойчивый ректор получился только из Н.-Б. З. Векслина <…> Порывистый, доброжелательный, но и насквозь проникнутый революционными идеями преобразования всего, что встречалось ему на пути, уверенный, что революционному духу нет преград, он — и это поразительно — понял, что физике предстоит стать ведущей дисциплиной. Но в соответствии со своим революционным духом

вздумал заменить зав. кафедрой физики проф. А. Д. Гольдгаммера (сын знаменитого проф. Д. А. Гольдгаммера) изобретателем А. Г. Садреевым. <…> Через несхолько дней выходит приказ о назначении Садреева зав. каф. физики! Боже справедливый! Ведь «великий» изобрел только электрическую мышеловку и предложил проект использования энергии молний для энергетики первой пятилетки! Ему не хватило знаний для вычисления стоимости одного удара молнии (семь копеек по тогдашним казанским ценам). <…> Почему «проклятая реакционная Россия» могла поставить ректором гениального Лобачевского, а в революционной России хорошего, простого рабочего человека могут нарядить в шутовской наряд для игры в демократию? Да нет! Это принесение жертв новому богу-идеологии. <…>

…Я был вызван к ректору, который с радостью сообщил мне, что он (в уборной Наркомпроса) случайно встретил очень представительного человека, который назвался профессором физики К.Н. Шапошниковым[1]. В нескольких словах К. Н. Шапошников объяснил, что он хочет поехать в Казань, и Векслин с восторгом тут же благодарил судьбу. <…> Ректор издал приказ о назначении проф. К. Н. Шапошникова на должность заведующего кафедрой физики <…> Вскоре Шапошников приступил к чтению общей физики для студентов первого курса физмата и выступил с докладом на собрании Физико-математического общества университета. Зная то, что будет говориться на этом докладе, я советовал профессору П. А. Широкову не ходить на заседание, но он, привыкший все познавать сам, пошел и через десять минут, в течение которых лектор расправился с теорией относительности, прошептал мне: «Я не думал, что увижу столь низкое падение университета, где профессор физики отрицает теорию относительности». Лекции студентам были похожи на упомянутый доклад, но основное время на них тратилось на анекдоты (иногда остроумные) и описания подвигов лектора в науке».

Завойский оказался фактически самым грамотным физиком в КГУ, и свойственное ему чувство ответственности заставляло его работать не только в области научных исследований, но и в области преподавания изо всех сил, компенсируя недостаток поддержки руководства за счет собственного здоровья. К тому же в середине 1930-х Завойскому было поручено руководить организованной при университете лабораторией УКВ. «Лаборатория возникла под влиянием ряда “чудодейственных” свойств УКВ. Я вызван в РКИ к Куйбышеву (это брат В. Куйбышева). В здании на Ильинке меня проводят какие-то личности во френчах и галифе с оттопыренными задами (револьверы) в кабинет за двумя обитыми дверями. За столом развалился грузный холеный человек, а рядом стоит военный. Меня без обиняков спрашивают: могут ли УКВ убивать человека на расстоянии? Я отвечаю, что нет, и твердо стою на своем. Интерес ко мне сразу

[1] Не путать с И. Г. Шапошниковым, зав. кафедрой теорфизики КГУ в 1939–1941 и в 1946–1948 гг.

пропадает, и меня напутствуют: лабораторию поддержим, но учтите, что заданный вопрос — самый важный! Я думаю: вот чем занимается РКИ (Рабоче-крестьянская инспекция), в которой я не встретил ни одного рабочего или крестьянина!» (цит. по: [Завойский, 1993])

В конце 1930-х годов судьба Завойского проходит на волосок от катастрофы. В течение 1937–38 гг. были арестованы старший брат Евгения Константиновича, жена брата, муж старшей сестры. Младшие брат и сестра Завойского уходят из университета (от греха подальше по собственному желанию). Самого Евгения Константиновича за показ на лекции по кристаллооптике студентам второго курса физмата спирали Эйри (явление в двуосных кристаллах, которое при вращении николей проявляется в форме картины от креста до свастики) обвиняют в фашистской пропаганде (дело происходило еще до подписания германо-советского договора о дружбе и границе между СССР и Германией). Одна за другой комиссии занимаются «подробным рассмотрением (в лупу) кристаллов в поисках запрятанной там свастики, но тщетно, ее там нет» [Завойский, 1993]. Он подает заявление об увольнении, но администрация по известным ей одной причинам не пошла на это.

Евгений Константинович женится на Вере Константиновне Труфановой. Бытовые условия молодой семьи оставляют желать лучшего. В 1936 г. от болезни умирает первая дочь Завойского.

Евгений Константинович с 1933 г. сотрудничал с физикохимиком Б. М. Козыревым, а в 1935 г. физика в Казани получила новое подкрепление. Закончил аспирантуру у И. Е. Тамма и начал работать доцентом КГУ С. А. Альтшулер, ставший соратником и продолжателем Е. К. в важнейшем деле его жизни (рис. 3).

Между тем в 1939 г. стало известно об успешных опытах И. Раби с ядерным магнитным резонансом в молекулярных пучках [Rabi et al., 1938]. Тематика была близка Евгению Константиновичу как создателю высокочувствительного метода исследования радиочастотного поглощения в веществе и С. А. Альтшулеру, чья кандидатская диссертация была посвящена теории ядерных магнитных моментов. К работе подключился и Б. М. Козырев. Это содружество казанских физиков поставило перед собою задачу обнаружить резонанс магнитных моментов ядер не в молекулярном пучке (что было в принципе просто, но требовало слишком громоздкой вакуумированной установки), а в веществе. Для создания магнитного поля был использован небольшой так называемый электромагнит Дюбуа, имеющий подковообразное ярмо с весьма малым (порядка 4–5 см в диаметре и примерно 3–4 см длиной) зазором между полюсами (рис. 4). Схема же для измерения поглощения по изменениям сеточного тока лампового генератора была по тем временам очень чувствительной. Анализируя лабораторные записи того времени и привлекая свои личные воспоминания, соавторы Евгения Константиновича [Альтшулер и Козырев, 1971] выразили впоследствии твердую уверенность, что ядерный (протонный)



Рис. 3. Слева направо: С. А. Альтшулер, Е. К. Завойский, Б. М. Козырев. Казань, 1968. Источник: личный архив Н. Е. Завойской

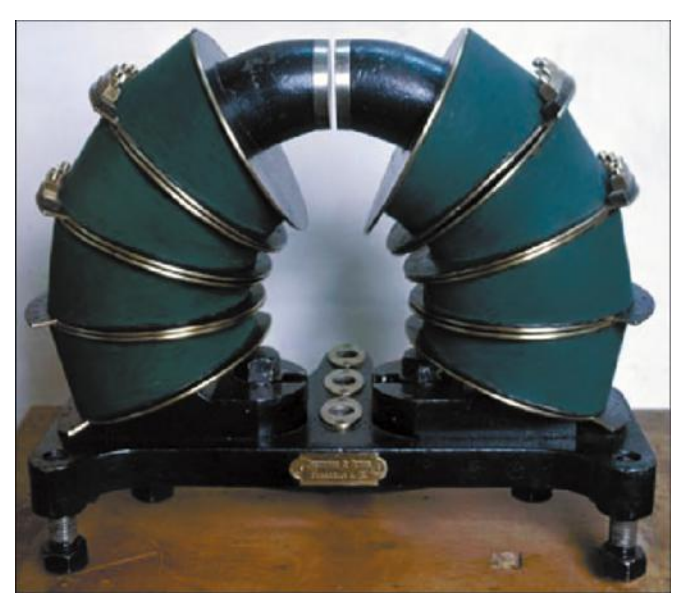


Рис. 4. Электромагнит Дюбуа, использовавшийся в экспериментах Е. К. Завойского, С. А. Альтшулера и Б. М. Козырева в конце 1930-х гг. Казань, музей-лаборатория Е. К. Завойского. Источник: личный архив И. И. Силкина

магнитный резонанс неоднократно наблюдался Евгением Константиновичем, который непосредственно выполнял измерения на частотах около 6–8 мегагерц в магнитном поле с напряженностью порядка 1500 Гс.

Неуверенность экспериментаторов в принципиальной возможности наблюдать ЯМР в веществе («*конденсированной среде*») была сильнейшим психологическим фактором. Некоторые теоретики (Гайтлер и Теллер, [Heitler and Teller, 1936]) предсказывали, что, поглотив небольшую порцию энергии электромагнитного поля, система спинов «*насытится*», т. е. перегреется. В квантовой терминологии при насыщении выравняются заселенности состояний спинов и магнитных моментов, различающиеся ориентациями в поле. Уже в те годы безуспешно бился над обнаружением парамагнитного резонанса ядер и электронов в веществе голландский физик К. Гортер, но он к тому же встал сначала на неверный путь, пытаясь обнаружить резонансный эффект по максимуму теплового эффекта поглощения радиоволн [Gorter, 1936a, b]. Завойский был гораздо ближе к открытию. Принцип эксперимента, предложенный им, — наблюдение реакции радиосхемы на поглощение энергии в веществе был и остается наиболее чувствительным. Дело с насыщением оказалось не столь уж безнадежным. Существует достаточно механизмов сброса энергии спинов в кристаллическую решетку (в кинетическую энергию электронов проводимости или в тепловое движение жидкости), чтобы обеспечить нужную для наблюдения чувствительность. Но кто бы мог все это заранее объяснить первопроходцам! Впоследствии, будучи уже первооткрывателем, в других задачах Евгений Константинович учил своих соратников, что ежели можешь вбросить энергию в систему, система найдет способ, как распределить эту энергию по многим степеням свободы!

Но то, что совершенно очевидно для тех, кто (после работ Блоха и Парселла 1946 г.) знает, что ЯМР наблюдаем в веществе, не могло быть основанием для авторов заявить о своем открытии. Дело в том, что по неясным тогда причинам резонансный сигнал то обнаруживался, то исчезал от включения к включению, от сотрясений установки и т. д. Авторы не могли тогда вполне точно оценить эффекты неоднородности магнитного поля в объеме образца, которые зачастую менялись от упомянутых выше причин непредсказуемым образом. Чаще всего разброс значений поля, от которого зависела и резонансная частота, оказывался слишком велик, линия уширялась и становилась ненаблюдаемой. Конструкция магнита Дюбуа была механически недостаточно жесткой, а даже оптимальное значение неоднородности в зазоре этого крошечного магнита само по себе было слишком большим и поэтому, продолжая упорные поиски, Евгений Константинович был далек от того, чтобы провозгласить открытие. Добавим, что американские ученые в конце 1945 «ловили» ЯМР в зазоре больших (диаметром до 60–70 см) электромагнитов для циклотронов или исследования космических лучей, где исходные неоднородности (значения разброса магнитных полей в объеме образца) были наверняка на два–три порядка (в сто–тысячу раз)

меньше. Единственной трудностью американских первооткрывателей был поиск точного значения тока электромагнита, при котором поле принимало резонансное значение (для работы циклотрона достаточно было лишь грубо оценить значение напряженности). В СССР также было пять–шесть почти таких же магнитов, но доступ к ним имели лишь немногие и занятые совсем иными проблемами ученые.

Дальше — больше. Начало войны совершенно трагическим и нелепым образом прервало работу по поиску эффектов ЯМР. Казалось бы, эвакуация Ленинградского физико-технического института (ФТИ) АН СССР в Казань могла только помочь исследователям в достижении цели. Научные кадры университета в действительности были перед началом войны относительно слабоваты, Завойскому очень нужна была поддержка других опытных физиков. Однако на практике сначала все оказалось по-другому. Высокая комиссия из профессоров и академиков того самого ФТИ только взглянула на установку Завойского и вынесла вердикт: самоделка, не представляющая научного интереса. Так вспоминает об этом сам Евгений Константинович. Установку разобрали, точнее раздолбали, вопреки несогласию хозяина и в его отсутствии, а в освобожденной комнате в течение двух лет отоваривали хлебные карточки сотрудникам ФТИ.

Добровольно ушел на фронт С.А. Альтшулер, сам Завойский был переведен на оборонную тематику (формально это имело отношение к радиолокации, но фактически он был направлен в помощь члену-корреспонденту АН СССР В.К. Аркадьеву на довольно бесперспективную тему [Силкин, 2007, с. 103–106]. Тем не менее работа Аркадьева хорошо финансировалась, «5000 руб. на выполнение спецработ» и формально выполнялась в рамках ФИАН [АРАН, 1941а]). Неоднократно Завойский выезжал с коллективом факультета и университета, возглавлял сельскохозяйственные работы в подсобном хозяйстве КГУ, проводил заготовку дров и т.д. Кроме того, эвакуированные в Казань академические институты Москвы и Ленинграда заняли значительную часть помещений КГУ. При этом надо понимать, что это означало не просто необходимость «потесниться» при приезде коллег. Постановлением правительства СССР все здания КГУ были переданы АН СССР. Часть этих зданий АН СССР оставляла в распоряжении КГУ «для обеспечения учебной работы», отдельные аудитории (в некоторых случаях — этажи) в разных зданиях [АРАН, 1941б]. Сотрудники КГУ становились фактически бесправными в собственном доме, «на птичьих правах», доступ в основную часть помещений КГУ им был запрещен. Все это — неизбежные издержки военного времени. Но зачем же было ломать работающую аппаратуру!

После реэвакуации академических институтов в 1943 г. из Казани и прекращения работ в лаборатории В.К. Аркадьева Завойский добился у руководства утверждения нового плана научно-исследовательских работ. Этот план включал изучение поглощения энергии радиоволн в параллельных и, главное, в перпендикулярных полях. Предусматривалось

размещение ампулы с образцами парамагнитных солей и их растворов, а также порошков металлов в катушке индуктивности колебательного контура, где наиболее сильной была магнитная компонента электромагнитных колебаний.

Вопрос о том, почему Завойский не открыл сразу же после ЭПР и ЯМР, волнует исследователей его творческой биографии. Можно высказывать разные предположения, однако нам кажется, что сама постановка вопроса представляет взгляд «из будущего», в котором вышли на первый план те реалии, что были совсем не очевидны для Завойского и его современников. Одна из них — это «диверсификация» исследований и проявлений магнитного резонанса, характерная для сегодняшнего дня. Для нас очевидно, что спектроскопия ЯМР жидкостей и твердых тел, органических и неорганических веществ и т. д. и т. п. — это совершенно разные направления, не просто обладающие своей спецификой, но и подчас использующие совершенно разные экспериментальные подходы. Как мы покажем ниже, магнитный резонанс, уже открытый в опытах Раби, надо было открывать каждый раз заново для новых объектов. Но настолько внятного разделения магнитно-резонансных исследований даже хотя бы на ЭПР, ЯМР и ФМР в годы первых открытий еще не было. Достаточно взглянуть на научные журналы тех лет, чтобы убедиться, что работы по спектроскопии ЭПР, ФМР и ЯМР идут в них часто под одной рубрикой. Проводя аналогию с географическими открытиями, можно сказать, что если вы открыли Южный полюс, то это не значит, что вам нужно срочно бежать и открывать южный магнитный полюс, полюс холода или южный полюс относительной недоступности — уже само по себе ваше открытие воспринимается как покорение Антарктики, а интерес к следующим «точкам» приходит позже.

Вторая черта нашего современного взгляда — это нацеленность на успех, приоритет и заслуженные награды, которая нам сейчас иногда совершенно неоправданно кажется определяющей в мотивации открывателей магнитных резонансов. Сложно себе представить, чтобы Завойский в момент проведения этих работ был сильно озабочен стремлением «застолбить» за собой все возможные виды резонанса. При этом обнаруженное Завойским явление открывало ничуть не меньшие горизонты для исследований, чем любые другие (тогда еще гипотетические) виды резонанса.

В самом деле, очевидно, что уже первые опыты с исследованием парамагнетиков показали Евгению Константиновичу перспективность этого направления. В конце 1943 – начале 1944 г., хотя исследования проводились по обстоятельствам военного времени не слишком регулярно, в записях Завойского стали появляться указания на резонансы в поле около 12 эрстед при частоте возбуждения около 35 мегагерц, обнаруженные именно при перпендикулярном расположении оси радиочастотной катушки относительно направления постоянного магнитного поля. Для получения постоянного поля были вместо использованного вначале магнита применены затем две катушки, намотанные на круглые каркасы и размещенные соосно

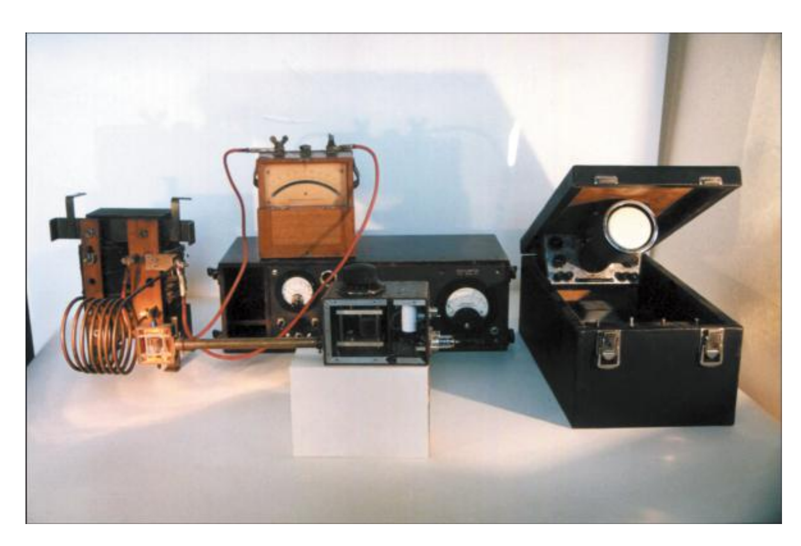
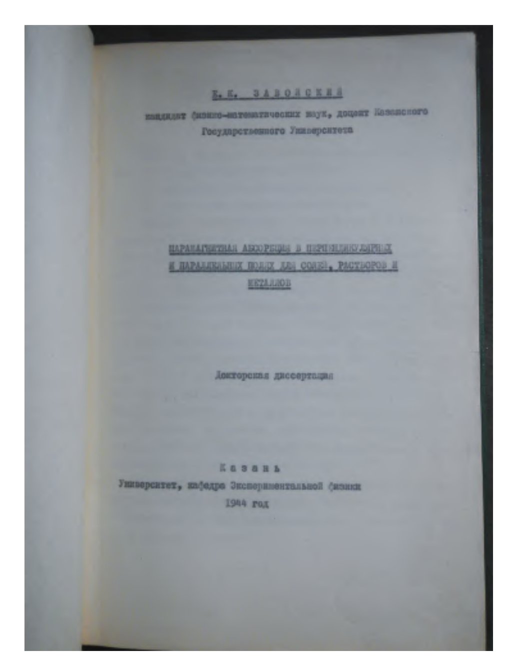


Рис. 5. Установка, на которой Е.К. Завойским был впервые получен сигнал ЭПР. Реконструирована И.И. Силкиным. Казань, музей-лаборатория Е.К. Завойского. Источник: личный архив И.И. Силкина

определенным образом (катушки Гельмгольца) (рис. 5). Резонанс «вырисовывался» при неуклонном увеличении частоты возбуждения где-то на частотах несколько десятков мегагерц (десятков миллионов колебаний в секунду) в полях с магнитной индукцией порядка двух–трех десятков гауссов [Силкин, 2007, с. 130–132].

Ток в катушках можно было периодически изменять, питая их «пилообразным» напряжением. Чувствительность схемы была в десятки раз увеличена путем наложения на постоянное магнитное поле дополнительного медленно меняющегося по синусоиде поля модуляции. К катушкам Гельмгольца в параллель с аккумулятором, источником постоянного тока, можно было подключить через конденсаторы генератор звуковой частоты, и после детектирования (выпрямления) сигнала колебаний получался низкочастотный сигнал, который было удобно отфильтровать от шумов и помех.

Воспроизводимость (повторяемость результатов) наблюдений на этот раз была удовлетворительной, записи о резонансах в лабораторных протоколах повторялись и несложный подсчет показывал, что максимум поглощения для некоторых солей меди, марганца и хрома соответствует резонансу магнитного момента, лишь несколько отличающегося от магнитного момента свободного электрона. Характерным было положение максимума кривой поглощения $A(H)$, полученной при пилообразном изменении тока I в катушке, где A — интенсивность сигнала на регистрирующем устройстве, $H = kI$ — напряженность магнитного поля (см. рис. 6). Кривая регистрировалась по точкам с помощью гальванометра или на ленте шлейфового осциллоскопа или на экране электронного осциллографа при медленном



Е. К. ЗАВОЙСКИЙ

кандидат физико-математических наук, доцент Казанского Государственного Университета

ПАРАМАГНИТНАЯ АБСОРБЦИЯ В ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОЛЯХ ДЛЯ СОЛЕЙ, РАСТВОРОВ И МЕТАЛЛОВ

Докторская диссертация

Казань

Университет, кафедра Экспериментальной физики

1944 год

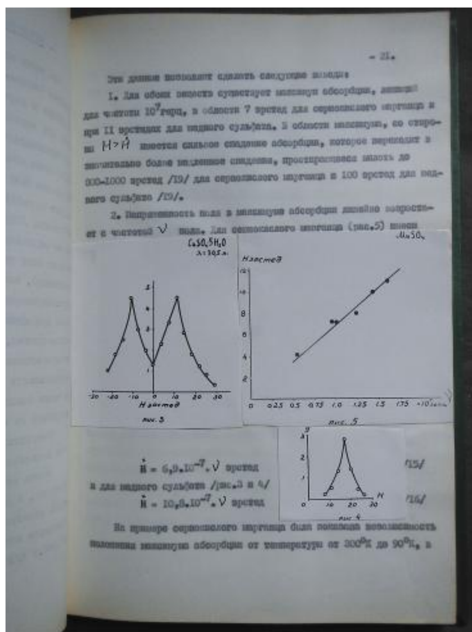


Рис. 6. Титульный лист и одна из страниц докторской диссертации Е. К. Завойского. Источник: личный архив В. В. Птушенко

изменении постоянного тока в катушках Гельмгольца (т.е. напряженности поля катушек). Вычисление показывало, что это было совершенно определенно резонансное поглощение энергии электромагнитных колебаний системами электронных магнитных моментов ионов переходных металлов (медь, марганец, хром) в их солях. Для свободного электрона (магнитный момент равен магнетону Бора или β) спектроскопический фактор g почти равен 2. В опытах Евгения Константиновича g-фактор, как стали его впоследствии называть, действительно был близок к двойке. При изменении частоты f положение максимума смещалось пропорционально изменению частоты возбуждения, так что максимум A достигался при выполнении условия $f = (g\beta/h)H_{max}$, где h — постоянная Планка.

Как всякое резонансное явление, вновь открытый ЭПР характеризовался контуром спектральной линии, которая в координатах $A(H)$ оказалась столь широкой, что поглощение на низких частотах, используемых в первых опытах Завойского, было заметно отлично от нуля и в нулевом поле и в удвоенном по сравнению с резонансным значением поле. Евгений Константинович завершил первый этап своих исследований в мае 1944 г. и подал в Физический институт АН СССР (Москва) докторскую диссертацию (рис. 6).

Нельзя в этой связи не остановиться на условиях научной работы. Основной научный конкурент Завойского К. Гортер (впрочем, «конкурент» в кавычках, поскольку до 1945 г. он, по-видимому, не знал о работах Завойского), признавая высокий профессионализм и заслуженный успех казанского физика, сокрушался, что условия в оккупированной нацистскими войсками Голландии были слишком трудны для экспериментальной работы. Вряд ли респектабельному голландскому профессору было доступно понимание того, насколько дальше от благоприятных были условия военной Казани. Не будем говорить о руководстве подсобным хозяйством КГУ, о работе на семейном огороде и об охоте за грачами. Хотя перед этим Завойский формально трудился на поприще радиолокации, детали и элементы новой установки он доставал сам и через своих студентов и аспирантов, работавших на оборонных предприятиях, со страшным трудом, о чем вспоминает в своих записках, опубликованных уже после его кончины [Завойский 1993]. С осени 1943 г. Завойский также возобновил преподавательскую деятельность.

Крупнейший советский теоретик из Ленинградского ФТИ Я.И. Френкель (рис. 7) был первым из тех, кто заинтересовался новым открытием и попытался дать ему теоретическую интерпретацию [Френкель, 1945]. К сожалению, корифей весьма формально подошел к интерпретации формы линии полученного резонанса, однако природу наблюдаемого явления как электронного спинового резонанса он определенно подтвердил. Это само по себе оказалось полезным в дальнейшем признании работы Завойского научной общественностью.

В 1944–1945 гг. Завойский неоднократно ездил в Москву; дело с защитой диссертации что-то затягивалось. У некоторых академиков (как теперь бы



Рис. 7. Я. И. Френкель. Источник: сайт РАН, URL: http://www.ras.ru/win/db/show_per.asp?P=.id-52556.ln-ru

сказали у научной элиты ФИАНа) возникало серьезное сомнение в том, что в таких условиях, да столь малоизвестный физик, да без всякой поддержки мог наблюдать столь тонкий, как тогда понимали, эффект. Для специалистов по оптике казалось чудом непосредственное наблюдение поглощения очень низкочастотного кванта энергии, соответствующего тому самому весьма тонкому *зееманову расщеплению*, которое можно видеть в оптических спектрах паров и газов, помещенных в магнитное поле. Были и профессиональные скептики (такие всегда найдутся), которые обычно с порога отвергали все, что было сделано не Гарварде, не в Оксфорде, не в Беркли, ну в крайнем случае не в ФИАНе, ФТИ или в Харькове. Потому-то и затягивалась постановка диссертации на защиту.

Помогли ученые Института физических проблем (ИФП) — Петр Леонидович Капица и Александр Иосифович Шальников (рис. 8, 9). В ответ на указанные выше сомнения они радушно предложили Завойскому в ИФП проделать свои эксперименты в более благоприятных условиях: во-первых, на более высоких частотах до 2,75 ГГц (соответственно в более высоких полях до 1200 Э); во-вторых, в более широком температурном диапазоне (при температурах жидкого водорода –253 °С или 20 К). Затем опыты были повторены при охлаждении парами кипящего жидкого гелия, что довело диапазон температур, при которых искали ЭПР, до –269 °С (4,2 К). Известный экспериментатор-виртуоз А. И. Шальников лично помогал Завойскому реа-



Рис. 8. Слева направо: Л.А. Арцимович, М.А. Лаврентьев, Н.Н. Семенов, П.Л. Капица. 1956. Источник: мемориальный музей П.Л. Капицы Института физических проблем. Предоставлено Т.Ю. Балаховской



Рис. 9. Слева направо: А.И. Шальников, А.И. Алиханов, Л.Д. Ландау, П. Савич. Москва, ИФП, 1946. Личный архив Н.А. Шальниковой

лизовать эти опыты, поражаясь простоте и высокой чувствительности измерительного метода. Установка была собрана и испытана в январе 1945 г. в течение пары недель! Существование эффекта ЭПР на тех же самых объектах, которые Завойский изучал в Казани, было полностью подтверждено, а скептики посрамлены. В присутствии оппонентов Е.И. Кондорского

и А. И. Шальникова и при поддержке Я. И. Френкеля Завойский защитил диссертацию[1)].

Однако формальное признание открытия не произвело должного изменения ни в условиях работы, ни в бытовых условиях ученого и его семьи. Правда, вернулся из армии верный соратник Семен Александрович Альтшулер. Вместе с Б. М. Козыревым и самим Завойским он быстро разобрался в механизме уширения спектрального контура ЭПР. Это оказалось взаимодействие между магнитными моментами неспаренных электронов в парамагнитных солях. Уже в 1947 г. Завойский, независимо от Гриффитса, которому одному обычно приписывают это открытие, наблюдал ферромагнитный резонанс. Евгений Константинович получил формальную возможность создать лабораторию во вновь созданном Казанском физико-техническом институте АН СССР. Но финансирования работ практически не было. Пример, ярко иллюстрирующий научную жизнь Завойского в Казани этих лет, — его письмо вместе с коллегами (И. Г. Шапошниковым, С. А. Альшулером и Б. М. Козыревым) от 11 ноября 1946 г. президенту АН СССР С. И. Вавилову с просьбой помочь получить электромагнит, без которого дальнейшие работы по электронному и особенно по ядерному магнитному резонансу невозможны, но который (или хотя бы материалы для конструирования которого) не удалось получить ни через местные организации, ни через официальные заявки в АН СССР (опубл. в: [Силкин, 2007, с. 173–174]). Заметим, что на дворе — конец 1946 г., ЯМР открыт и значение его уже очевидно: на западе начинается период активнейших работ в этой области [Rollin, 1946; Purcell et al., 1946a].

Семья же Завойского жила в двух комнатах в бывшем подсобном помещении, полуприсобленном под жилье, с печью, имевшей прямой выход в трубу (остывавшей за пару часов) и с промерзавшей насквозь противоположной стеной. Дочь и жена болели, условий для работы дома не было. Ректорат не хотел помочь уже солидному ученому улучшить, как говорилось в официальных документах, жилищные условия, и причиной этому была отнюдь не сложность послевоенных условий, а плохое отношение к Завойскому из-за его принципиальности тогдашнего ректора КГУ К. П. Ситникова, как вспоминал С. А. Альтшулер ([Альтшулер и Ларионов, 2014]). Между тем защита Завойского не осталась без последствий. Слух о талантливом экспериментаторе достиг научных руководителей атомного проекта. Однажды в 1947 г. научный руководитель проекта по созданию атомного оружия И. В. Курчатов вызвал Завойского к себе.

Как это можно теперь понять из воспоминаний коллег Евгения Константиновича по атомному центру, ему, в частности, была поручена задача определить скорость взрывной волны в химическом запале атомной бомбы, взрыв которого сжимал подкритический объем делящегося мате-

[1)] Стенограмма защиты практически полностью опубликована в книге Н. Е. Завойской [2007].

риала до критического размера. Естественно, Завойский применил для этого электромагнитные методы (работа велась параллельно многими путями). Задача была достойной, цель — тогда она Завойского не порадовала. Семья переехала в Москву, получила хорошую квартиру, но самому Завойскому пришлось отправиться в Арзамас-16 (Саров). Как вспоминает дочь Завойского: «Это был черный период в жизни отца. Тогда я не понимала, какую жестокую плату он заплатил за наше с мамой благополучие. Сам он не любил вспоминать эти мучительные годы, да и не мог этого делать по соображениям секретности. В феврале 1949 г. он писал маме в роддом, поздравляя с рождением сына: «…Я думаю, что его будущая специальность не должна быть физикой: эта специальность становится гнусной и значительно лучше ему заняться физиологией человека или астрономией» ([Завойская, 1993б]). В 1951 г. Завойскому, наконец, удалось вырваться из Сарова и отойти от оружейной тематики, о чем он просил Курчатова. С этого момента Завойский на долгие годы стал сотрудником Лаборатории измерительных приборов АН СССР (через несколько лет переименованной в Институт атомной энергии, впоследствии получивший имя И. В. Курчатова).

Семь лет в открытой печати не появлялись статьи Завойского. Семь лет ушло на тяжелую, неблагодарную, но в то время неизбежную работу. В 1953 году Евгений Константинович в составе значительного коллектива инженеров и физиков приступил к работе над созданием пучков ядер с поляризованными спинами. В 1956 году источник поляризованных по спину протонов и дейтонов был успешно реализован.

Параллельно Евгений Константинович как бы в продолжение своих работ «на объекте» вел разработку экспериментальных методов исследования очень быстрых процессов. В 1953 г. Завойского избрали членом-корреспондентом АН СССР.

Кстати, работы по изучению распространения взрывной волны показали, что электромагнитный метод для этой цели при имевшейся тогда технике не самый удобный. Вскоре Завойскому пришлось исследовать электрические разряды. Для этой цели он совместно с С. Д. Фанченко разработал многокаскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП). Каждый каскад представлял собой фотокатод (экран, из которого свет выбивает электрон) и небольшой линейный ускоритель с люминесцентным экраном на выходе. Ускоренный электрон на люминесцентном экране вызывал более яркую вспышку света, чем исходная. Мастерство экспериментаторов позволило им сочетать пять-шесть таких каскадов, не внося значительных искажений в передачу временной зависимости светового импульса. Изображение в ЭОПе можно также разворачивать во времени или сканировать в пространстве. Люминесцентная камера также являлась детищем Евгения Константиновича [Скорюпин, 2006].

Многокаскадные усилители света с разверткой по коротким временам были далее усовершенствованы Евгением Константиновичем вместе

с М.М. Бутсловым и группой сотрудников. Была достигнута возможность наблюдения процессов, разыгрывавшихся всего лишь за 10^{-14} с. Среди полученных на новой аппаратуре результатов был, например, такой. Оказалось, что свечение миниатюрной электрической искры может длиться всего лишь 10^{-10} с, в тысячу раз короче, чем вначале предполагалось! Отсюда пошло использование ЭОПов в счетчиках заряженных частиц. Широко применялись многокаскадные ЭОПы в исследованиях лазерных импульсов, для киносъемки процессов разрушения материалов и изделий, в астрономии и т. д. [Бабыкин и др., 1956].

Отвлекаясь от описания самого творческого пути Евгения Константиновича, укажем, что в числе первых номинантов Ленинской премии, восстановленной в СССР в 1957 г., оказался и Е. К. Завойский за открытие электронного парамагнитного резонанса. Присуждение Ленинской премии Евгению Константиновичу вызвало единодушную поддержку и даже воодушевление значительной части научной общественности. Помимо того, что Завойского уважали как выдающегося экспериментатора, его еще и просто любили как замечательного, принципиального и очень внимательного к людям человека.

С 1957 г. Завойский вплотную занялся исследованиями явлений в плазме. Работы возглавляемого им коллектива лежали в русле решения многочисленных проблем, лежащих на пути создания, в частности, и управляемой термоядерной реакции. Возникла проблема быстрой закачки энергии в плазму, ее нагрева. Одним из способов такой закачки был избран нагрев магнитно-звуковым резонансом. Такой резонанс возникает при совпадении частоты колебаний магнитного поля с одной из многочисленных частот собственных колебаний заряженных частиц в плазме. Было обнаружено весьма сложное и многоплановое явление турбулентного нагрева плазмы, явление перехода энергии регулярных колебаний в энергию хаотических движений заряженных частиц и их сгустков. На этих исследованиях выросли многие и многие талантливые исследователи: А. П. Ахматов, М. В. Бабыкин и другие. Работал в секторе Завойского и выдающийся теоретик Л. И. Рудаков. Оценивая полученные коллективом результаты, АН СССР избрала Евгения Константиновича в 1964 г в свои действительные члены. В этот период он формулирует программу развития исследований по физике плазмы в СССР и даже шире — в странах социалистического лагеря; делает предложение о создании Института физики горячей плазмы в СССР. В 1967 г. Завойский предлагал начать широкие научные взаимодействия в области УТС с чешскими учеными, которые в тот момент очень далеко продвинулись в исследованиях плазмы. Однако ввод советских войск в Чехословакию в августе 1968 г. нарушил эти планы.

По не вполне понятным причинам контакты Завойского с заграничными учеными были с 1967 г. пресечены. Хотя он регулярно получал почетные приглашения на многие международные конференции как по ЭПР, так и по физике плазмы, лишь трижды за 20 лет его работы по открытой тематике

ему разрешили выехать за границу. В сравнении со многими другими советскими учеными того же статуса это было чрезвычайно мало. И объяснить это соображениями секретности в связи с его работой в Атомном проекте в конце 1940-х не удается: среди его коллег было много тех, кто также работал в Атомном проекте, но таких ограничений не имел. При этом существенно, что во многих случаях никаких «отказов» Завойский не получал: ему было разрешено ответить на приглашение, несколько месяцев готовиться к докладу и лишь за несколько дней до отъезда «выяснялось», что решение о его поездке отменено. Лично доложить результаты исследований своей лаборатории по физике плазмы ему удалось лишь трижды: в Зальцбурге (Австрия) в 1961 г., в Калэме (Великобритания) в 1965 г., в Праге (1967 г.).

По мнению Г.А. Аскарьяна [1993], хорошо знавшего Завойского по работам в области физики плазмы, бьющий через край, бросавшийся всем в глаза талант, если не гений Завойского безошибочно вел его к поиску и решению принципиально новых задач, но порой раздражал некоторых из его коллег и научных конкурентов. Сам же Евгений Константинович был неизменно ровен и доброжелателен в отношениях с сотрудниками своей и других лабораторий. Это был образец высокоинтеллигентного, преданного Науке и Истине человека. Даже став академиком, Завойский не прекращал работать своими руками. «Некоторые шутники-острословы говорили, что Завойский является единственным работающим академиком в институте» [Гаврин, 1993]. Здесь можно также привести один эпизод из воспоминаний о Е.К. Завойском Р.А. Антоновой.

«Середина 60-х годов. Г.И. Ростомашвили и я приехали в ИАЭ имени И.В. Курчатова в сектор, руководимый Евгением Константиновичем, для ознакомления с некоторыми методами исследования плазмы и обсуждения нашей работы. <…> Нас радушно встретили в секторе и объяснили, в какой комнате можно видеть Евгения Константиновича. Мы очень робели перед встречей с “отцом парамагнитного резонанса”. Тихонько постучали в указанную дверь. Нас пригласили войти. Переступив порог, мы очутились не в кабинете академика, как ожидали, а в лаборатории. За одной из установок сидел единственный в комнате человек — “пожилой” экспериментатор в черном рабочем халате с паяльником в руке. Он что-то перепаивал в схеме. Наше волнение мгновенно улеглось, и мы спокойно спросили, где можно видеть академика Завойского. Ответ поразил нас невозможностью: “Я вас слушаю”. От неожиданности мы потеряли дар речи. Евгений Константинович отложил паяльник и посмотрел на нас необыкновенно светлым и добрым взглядом чуть прищуренных глаз» [Антонова, 1993].

В последние годы Завойский проводил опыты по зажиганию термоядерной реакции пучком быстрых, релятивистских (т.е. летящих со скоростью, близкой к скорости света) электронов. Приступал к поискам высокотемпературной сверхпроводимости.

К сожалению, последние годы работы и жизни Евгения Константиновича оказались омрачены целым рядом препятствий в работе. Мы уже

упомянули о неуместных и оскорбительных (в последний момент) отказах в поездках на зарубежные научные конференции, в частности в Японию в 1970 г. и в США в 1971. Несомненно, такие немотивированные отказы в документах на выезд уже при явке в Государственный комитет по атомной энергии, непосредственно перед поездкой, глубоко оскорбляли Евгения Константиновича. Причем во втором случае для Евгения Константиновича даже не был заказан пропуск и к нему никто не вышел. Конечно, для простого советского человека в глазах чиновников это было в порядке вещей. «А чего вы пришли? — Вы никуда не едете», — вот и весь разговор. Кто-то решил, что поездки Евгения Константиновича за рубеж надо пресечь. А главное — из дирекции ИАЭ никто не захотел (в лучшем случае не смог) отстоять право своего ведущего сотрудника самому докладывать свои работы на всех научных форумах. Завойский после одного из таких отказов (ему было всего 64 года) подал в отставку. Некоторые физики, пытаясь понять причину ухода на пенсию своего коллеги на самом, казалось бы, пике его деятельности, связывали этот уход с упомянутыми отказами в выездах за границу, полагая, что это был, как пишет Г. А. Аскарьян, моральный протест против нарушения прав личности ученого. В действительности же, проблема была гораздо глубже: с подобными ситуациями Завойскому все чаще приходилось сталкиваться не только в Госкомитете при получении загранпаспорта, но и у дверей дирекции своего собственного института. По сути, в ИАЭ при широком развертывании и финансировании работ по УТС у сектора Завойского постоянно возникали проблемы с финансированием, без которого серьезная экспериментальная работа не могла вестись. Много позже В. Л. Гинзбург вспоминал о Завойском: «Мы с ним были предельно откровенны. Зря он ушел из института. Работал бы себе и работал. Арцимович делал ему пакости. Ну и что? А он бы работал да работал. У него гордыня была. У меня, знаете ли, нет гордыни. Я не позволяю себе ее иметь» [Завойская, 2012]. Беда была в том, что, продолжать «работать да работать» возможно, будучи теоретиком. Но для экспериментатора, у которого все возможности для получения новых данных на устаревшей установке исчерпаны, а строительство новой заморожено, не остается никаких возможностей для продолжения работы — только уходить в другую область. Повторилась ситуация 1947 года, с той разницей, что уходить было больше некуда. Курчатова, к которому Завойский, по воспоминаниям всех знавших его, относился с огромным уважением, уже не было в живых. Не видя возможности продолжать работу, Завойский ушел из института. Ему было 64 года — время самой активной и плодотворной работы для крупного ученого, академика.

После своего ухода из института, в 1972 г. Евгений Константинович перенес тяжелейший инфаркт. Даже в это тяжелое время проявились его удивительные человеческие качества. В 1973 году, когда в стране началась травля А. Д. Сахарова, Завойский хотел выступить в его защиту. Но, не успев еще оправиться от последствий инфаркта, предпринять какие-либо активные действия он не смог. В этот же последний период им были

завершены воспоминания о Казанском университете и о некоторых своих коллегах. Не переставал он обдумывать и разные идеи в физике плазмы, хотя публиковаться после ухода из института стало значительно сложнее. В последний год своей жизни он работал главным редактором журнала «Успехи физических наук». Эта последняя работа, как и все, что он делал, не была для него формальностью, отнимала много внимания, и также оставила неизгладимые впечатления у тех, с кем он работал. Заведующая редакцией Л.И. Копейкина [1993] так вспоминала о Евгении Константиновиче:

«Помню, как я познакомилась с Евгением Константиновичем. Это было в апреле 1976 г. вскоре после получения постановления президиума Академии наук об утверждении его главным редактором журнала. Я находилась в комнате редакции, когда услышала осторожный стук в дверь, вслед за которым в комнату вошел небольшого роста человек, с проседью, с очень добрым лицом, державшийся почему-то застенчиво. Поздоровался. Я предложила ему сесть. Он сел и сказал: “Я — Завойский”. В первую минуту я почувствовала какую-то неловкость <…> я предполагала, что новый главный редактор пригласит для знакомства всех сотрудников редакции к себе. Но Евгений Константинович сразу сказал, что и впредь всегда будет сам приезжать в редакцию, поскольку ему кажется нежелательным, чтобы на время отсутствия сотрудников дверь редакции была закрыта и посетители не могли сразу решить все интересующие их вопросы.

Я была потрясена этим: ведь это говорил крупнейший ученый, академик, крайне занятый, далеко не молодой и не абсолютно здоровый, живший к тому же довольно далеко от редакции. Но главное, я не могла не отметить и не оценить его доброго отношения к людям, его заботы о них, его уважительного отношения к их времени.

Начал Евгений Константинович тогда нашу беседу не с деловых вопросов. Прежде всего его заинтересовал штат сотрудников редакции, их зарплата, служебные обязанности каждого. И лишь потом он приступил к знакомству с делами нашей редакции» [Копейкина, 1993].

10 октября 1976 г. Завойский умер на 70-м году жизни.

Дружеские и научные связи Евгения Константиновича со многими советскими специалистами по магнитному резонансу и с казанскими физиками в течение всей его дальнейшей жизни (после 1953 г.) никогда не прерывались. От АН СССР Завойский курировал работы Казанского физико-технического института, всячески поддерживал развитие этого института, в частности строительство его нового здания на Сибирском тракте.

Очень важной вехой для всего «магнитно-резонансного сообщества» была международная научная конференция в Казани в 1969 г., посвященная 25-летию открытия ЭПР. В выступлениях высоких гостей К. Гортера и лауреата Нобелевской премии за исследования магнитного и двойного оптического магнитного резонанса в газах А. Кастлера участники услыхали высокую оценку работ главного юбиляра. Завершил Альфред Кастлер свою речь таким образом.

«Дорогие коллеги! Когда мы подлетали к казанскому аэропорту, наш самолет пролетал над Волгой. Увидеть эту реку было для нас волнующим событием. Волга начинается с небольшого родника, растет все больше и больше и, наконец, превращается в громадный поток, многоводный, как море. Так и парамагнитный резонанс. Он начался с небольшого эксперимента, выполненного здесь, в Казанском университете, 25 лет тому назад. За прошедшие годы он превратился в огромную область исследований и публикаций…» [Кастлер, 1971].

Сам Евгений Константинович выступил на этой конференции с идеями двух очень интересных, принципиально новых экспериментов по магнитному резонансу.

Последним вопросом, которым проводила научная общественность почившего патриарха, был все тот же, неоднократно задававшийся многими физиками мира: «Почему открытие Завойского так и не было отмечено Нобелевской премией?» Огромный объем материалов, позволяющий как-то приблизиться к ответу на этот вопрос, был собран Н. Е. Завойской [2007]. Важные «свидетельские показания» и соображения приведены статьях С. А. Альтшулера, Б. М. Козырева [1993] и С. В. Вонсовского [1993] в сборнике памяти Завойского «Чародей эксперимента» (старейшина советских магнитологов С. В. Вонсовский выдвигал Е. К. Завойского на Нобелевскую премию совместно со шведом И. Валлером, создателем первой теории парамагнитной релаксации в кристаллах, и уже упоминавшимся голландцем К. Гортером. Сообщал о своих выдвижениях Е. К. Завойского и В. Л. Гинзбург [1998]). Подробнее «нобелевская история» магнитного резонанса описана в главе 2. На международной конференции в Гейдельберге в 1976 г. было решено наградить Евгения Константиновича премией Международного общества магнитного резонанса. К сожалению, эта премия была присуждена ему уже посмертно.

Казанские последователи Евгения Константиновича в 1991 г. по инициативе директора КФТИ К. М. Салихова учредили медаль Завойского, которую ежегодно в годовщину рождения первооткрывателя (в сентябре) вручают одному–трем выдающимся исследователям в области ЭПР. Среди награжденных — отечественные и зарубежные «классики» ЭПР-спектроскопии: Вильям Мимс (США), Бребис Блини (Великобритания), Яков Лебедев (Россия), Клаус Мёбиус (Германия), Джеймс Норрис (США), Джеймс Хайд (США), Джордж Фейер (США), Камиль Валиев (Россия).

2. Жизненный путь и научные достижения Э. М. Парселла

В некрологе Э. М. Парселла в «Нью-Йорк Таймс» [Dr. Edward Purcell…, 1997] о нем прежде всего сказано, что умер «тот, кто первым сделал слышимым шепот водорода во Вселенной»[1) и лишь потом упоминается, что

[1) …who made it possible to “listen” to the whisperings of hydrogen throughout the universe…

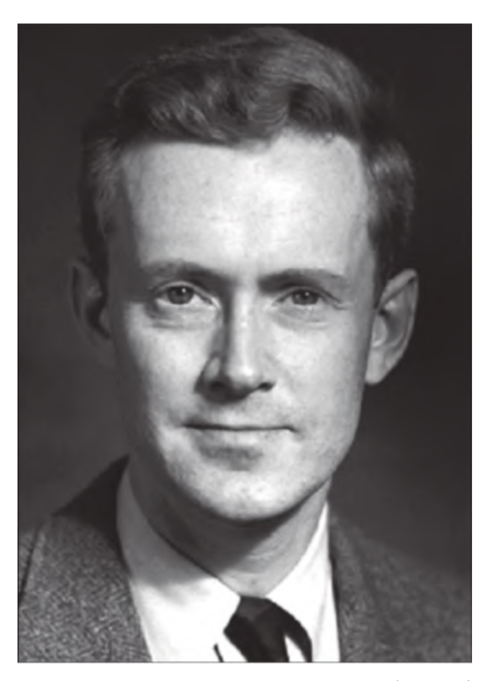


Рис. 10. Э. М. Парселл. Источник: архив Нобелевского фонда. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1952/purcell-bio.html

он разделил с Ф. Блохом Нобелевскую премию «За открытие способа обнаружить чрезвычайно слабый парамагнетизм атомных ядер»[1] (рис. 10).

В краткой биографии [Храмов, 2006, с. 724–725] упоминаются «исследования в области радиоспектроскопии, ядерного магнетизма, атомной, молекулярной и ядерной физики, радиоастрономии, биофизики, астрофизики» и более конкретно пять–шесть полученных Парселлом совместно с другими авторами выдающихся результатов. Из них свыше половины можно отнести к радиоспектроскопии ядерного магнитного резонанса (см. ниже). Конечно, отмечается, что Парселл «независимо от Ф. Блоха открыл ядерный магнитный резонанс (ЯМР)».

Хорошо знавший Э. Парселла и весьма авторитетный в кругах советских и российских физиков Анатоль Абрагам высоко ценил его профессиональные и человеческие качества. Абрагам писал [Абрагам, 1991, с. 171]:

«Эдвард Парселл — человек, которого я уважаю больше всех других как физика и как личность. Я никогда не встречался ни с кем более настоящим, более далеким от желания показаться не тем, кто он есть».

Характерно, что в русском издании [Абрагам, 1991] Абрагам сравнил Парселла с А. Д. Сахаровым. Если вспомнить, что Парселл в 1965 г. подал

[1] For discovering a way to detect the extremely weak magnetism of the atomic nucleus.

в отставку с поста советника президента США в знак протеста против эскалации войны во Вьетнаме, это сравнение покажется еще более убедительным.

Наталия Евгеньевна Завойская собрала о Парселле, Ф. Блохе и их сотрудниках довольно солидный материал в своем исследовании «История одного открытия» [Завойская, 2007, с. 113–135]. Однако там собраны фактически лишь сведения о ранних работах Э. Парселла, Ф. Блоха и их соавторов, выполненных до публикации пионерских работ по наблюдению ЯМР в веществе.

Опишем вкратце замечательный жизненный и научный путь Эдварда Парселла, неустанного труженика и талантливого исследователя, выдающегося педагога, сотрудника и идейного лидера, желанного в любом научном коллективе. Благодаря усилиям коллег из Американского института физики, Института инженеров радиоэлектроники, Гарвардского университета, Университета Пердью, Американского философского общества, Нобелевского архива, Архива и библиотеки Нильса Бора и других учреждений, например [Edward Mills Purcell…; Edward M. Purcell, 1991; Edward Purcell — Session 1…, 1977], как факты из биографии и личные впечатления Парселла, так и воспоминания его близких сотрудников (например, [Pound, 2000]) сохранились для потомков. Пожалуй, можно отметить, что в его судьбе ему, несомненно, сопутствовала удача. Родился Эдвард в маленьком американском городке Тейлорвилль (штат Иллинойс) в полутора сотнях километрах к юго-востоку от Чикаго в пресвитерианской семье. Мать Э. М. Парселла Мари была учительницей латинского языка. Отец Эдварда (также Эдвард) работал в местной телефонной компании, и для его сына детали электронной аппаратуры и научно-технические журналы, в частности журнал «Белл Телефон Компани», были предметами повседневной жизни. В старших классах школы Эдвард, переехавший с родителями в несколько более крупный городок Матун, поближе к Чикаго, обзавелся замечательным приятелем, вместе с которым они увлекались химическими опытами. Как вспоминает сам Парселл, на него большое влияние оказал и талантливый педагог, преподававший химию. Преподавательница физики, как рассказывал Парселл, была не слишком эрудированна в своем предмете, но прививала ученикам благоговейное уважение к нему.

В то же время, как вспоминал Парселл [Edward Purcell…, 1977], для него, выпускника школы, имя знаменитого инженера-электрика Ч. П. Штейнметца значило тогда (в конце 1920-х) больше, чем имя Эйнштейна. Эдвард поступил на инженерный факультет университета Пердью в городе Лафайет, штат Индиана. Однако там его склонность к исследовательской деятельности не осталась незамеченной. Его опекал профессор Карл Ларк-Горовиц (1892–1958, эмигрант из Австрии), имевший тесные связи с великим Гарвардским университетом (Кембридж, штат Массачусетс). После получения звания бакалавра в Пердью (1933) Парселл был направлен на стажировку в Европу, в тогдашний центр мировой физики — в Германию,

а именно в Высшую техническую школу Карлсруэ. Это случилось, к сожалению, буквально в те самые месяцы, когда к власти в Германии пришли национал-социалисты. Руководитель Парселла по стажировке профессор Вальтер Вейцель (1901–1982), пытаясь критиковать известные кадровые подходы нацистов, имел соответствующие неприятности с новыми властями. Стажировка продлилась не более года, но и она принесла будущему молодому физику большую удачу и не только в науке. В Мюнхене Эдвард слушал лекции великого физика Арнольда Зоммерфельда, а записывать их ему помогала соотечественница, также находившаяся на стажировке в Германии по специальности германская литература студентка из Гарварда Бетт Буссер.

По возвращении в Штаты (1934) Парселл был направлен в Гарвардский университет с подачи К. Ларк-Горовица. Там под руководством последнего Парселл занимался сначала дифракцией электронных пучков на тонких пленках, а затем подключился к другим исследованиям (в том числе и по магнитным свойствам солей при гелиевых температурах [Hebb and Purcell, 1937]). Одна из его работ (фокусировка электронного пучка в сферическом конденсаторе [Purcell, 1938]) послужила основанием для получения степени phylosophy doctor (Ph.D.). Работы разворачивались на базе циклотрона. Как указано в материалах Института инженеров-электриков (IEE) [Edward M. Purcell, 1991], Парселл участвовал в конструировании и изготовлении магнитов.

Незадолго перед тем, как Эдвард Парселл стал доктором философии, они с Бетт Буссер поженились и счастливо прожили почти шестьдесят лет до самой смерти Эдварда, воспитав двух сыновей.

Во время Второй мировой войны (с ноября 1940 г.) Парселл работал в радиолаборатории Массачусетского технологического института, где проводились в содружестве также с британскими учеными разработки военной радиолокационной техники. Это было грандиозное инженерно-техническое предприятие с штатом до 400 человек. К концу войны в США на основе его разработок было налажено массовое производство радиолокационного оборудования, отдельные образцы которого, по-видимому, были в конце войны поставлены и в СССР по программе лендлиза для военных целей. Труды лаборатории, в издании которых принимал участие и Э. Парселл, и его соавторы по созданию первой установки для наблюдения ЯМР, по данным Н. Е. Завойской [2007, с. 116–117], составили 28 томов! Издания были частично переведены на русский язык и широко использовались в советских лабораториях, работавших в области сверхвысоких частот и радиолокации.

В период работы в радиолаборатории (Radiation Laboratory) Парселл непосредственно контактировал с основателем экспериментальных методов магнитного резонанса Исидором Раби и другими участниками первых исследований по магнитному резонансу. Неудивительно, что после возвращения к мирной жизни с конца 1945 г. (примерно с сентября) до 1954 г. основные усилия Парселла и его нескольких соавторов были направлены



Рис. 11. Э.М. Парселл, Т. Боуэн, Г. Юн. Источник: интернет-сайт National Radio Astronomy Observatory, https://www.nrao.edu/whatisra/hist_ewenpurcell.shtml

на развитие методов и теории ядерного магнитного резонанса (об этом см. в разделе 4 этой главы). Тем не менее в эти же годы были проведены и другие замечательные исследования. Прошлое столетие помимо других эпитетов заслуживало также и названия «век радиофизики». И его середина была временем, когда радиоаппаратура, достигнув усилиями своих творцов нового уровня чувствительности, выдвигалась на новые рубежи. ЯМР — относился к новому направлению радиоспектроскопии, но Эдвард Парселл сказал свое веское слово и в другом направлении — в создании радиоастрономии. Ему удалось вместе со своим сотрудником Гаральдом Юном (H. Ewen, в обычной британской транскрипции Юн; рис. 11) с помощью рупорной антенны, размещенной на крыше одного из гарвардских корпусов (рис. 12), уловить излучение нейтральных атомов водорода [Ewen and Purcell, 1951]. По современным представлениям средняя концентрация атомов межзвездного газа составляет менее 1 атома в см^3.

Основная его масса заключена вблизи плоскости Галактики в слое толщиной несколько сотен парсеков. Плотность газа в среднем составляет около 10–21 кг/м^3. О наличии атомов водорода в межзвездном пространстве и соответственно об ожидаемом излучении на частоте 1420 МГц ($\lambda \approx 21$ см) уже за несколько лет до этого поговаривали многие астрономы, в частности наш И.С. Шкловский, который в 1948 году произвел детальный расчет предсказанной Х.К. ван де Хюлстом (Нидерланды) радиолинии нейтрального водорода и показал, что интенсивность излучения Галактики в этой



Рис. 12. Г. Юн около рупорной антенны,1950. Источник: интернет-сайт National Radio Astronomy Observatory, https://www.nrao.edu/whatisra/hist_ewenpurcell.shtml

линии достаточна для обнаружения с помощью имевшегося тогда оборудования.

Это излучение отвечает переходу между уровнями с разными взаимными ориентациями магнитных спиновых моментов протона и электрона в атоме H, обусловленными ферми-взаимодействиями типа $F = A\mathbf{IS}$, где $\mathbf{I}$, $\mathbf{S}$ — операторы спинов соответственно протона и электрона. Наличие этого взаимодействия и его происхождение от непосредственного контакта электрона, находящегося на *s*-орбитали, с протоном в свое время предсказал Энрико Ферми, пользуясь уравнением Дирака [Fermi, 1930]. За свою относительно малую величину (по сравнению как с кулоновским, так и с «тонким» спин-орбитальным взаимодействиями) оно названо сверхтонким, а за свою природу — контактным. В отсутствие внешнего магнитного поля энергия $2\pi\hbar A$ соответствует разности между энергиями триплетного состояния (с параллельными спинами) и синглетного состояния (антипараллельными спинами). Наблюдение излучения космических облаков атомарного водорода позволяет судить об их плотности, наличии между ними и нашей планетой пылевых облаков и т. д. Парселл впоследствии участвовал еще в некоторых астрофизических (радиоастрономических) исследованиях [Purcell, 1969; Purcell and Spitzer, 1971; Purcell and Pennypacker, 1973].

К началу 1950-х также относится весьма специфическая работа Дж. Смита и Парселла, в которой было обнаружено излучение видимого света релятивистским пучком электронов, направленным вдоль поверхности

дифракционной решетки [Smith and Purcell, 1953]. По некоторым соображениям, это излучение аналогично излучению Черенкова–Вавилова. Интересно, что ни в области методов ЯМР, ни в области излучения Смита–Парселла (так его теперь часто называют, см., например, [Woods et al., 1995]) Парселлу, по-видимому, не принадлежит ни одного патента. Однако и в том и в другом случае иные специалисты с упоминанием Парселла или без него такие патенты брали. Мы нашли в Интернете ссылку на патент США, касающийся применения излучения Смита–Парселла. Патент выдан на имя К. А. Эхдала (C. A. Ekhdal) в 1986 г. (заявка от 1983 г.). В заявке присутствует ссылка на [Smith and Purcell, 1953]. О купленном фирмой Вариан патенте Блоха и Хансена на химические применения ЯМР см. в разделе 4 этой главы.

Парселл участвовал в те же годы в исследовании дальнего распространения радиоволн при отражении от неоднородностей ионосферы (в составе большой команды в восемь соавторов из четырех учреждений, включая Бюро стандартов США, Гарвардский университет и т. д. [Bayley et al., 1952]). Он участвовал и в доказательстве с повышенной точностью отсутствия электрического дипольного момента у нейтрона (совместно с Норманном Рэмси, см., например, [Purcell and Ramsay, 1950]).

Парселл в 1949 г. стал одним из авторитетнейших профессоров физики Гарвардского университета, да, пожалуй, и США в целом [25. Edward Mills Purcell]. Именно его лекции послужили основой для вышедшего в 1965 г. второго тома «Берклеевского курса лекций по физике» «Электричество и магнетизм» [Purcell, 1965] (русский перевод в 1975 г., рис. 13; второе издание в США в 1984 г.). Этот курс до сих пор рассматривается как один из самых современных, в нем, в частности, наводится порядок в употреблении различных систем единиц (прежде всего новой системы СИ) и обозначений в курсах общей физики и электродинамики сплошных сред. Тексты из курса Парселла можно привлечь для анализа разночтений с употреблением обозначений H и B в формулах, описывающих эффекты магнитного резонанса (и другие эффекты в магнитном поле) [Кессених, 2009, с. 739]. Между прочим, курс Парселла был одним из первых общих курсов электричества и магнетизма, включающих рассмотрение эффектов магнитного резонанса.



Рис. 13. Берклеевский курс лекций по физике, том 2 «Электричество и магнетизм». Источник: личный архив В. В. Птушенко

В 1962 г. Парселл оказался вовлеченным в одну из хитроумных попыток найти магнитный монополь Дирака на этот раз

с помощью бомбардировки различных мишеней 30-мегаэлектронвольтным пучком протонов Брукхейвенского ускорителя. Загаданная Дираком задача со многими неизвестными, такими, как масса и магнитный заряд этого самого монополя, решена была для столкновений протонов с тяжелыми ядрами отрицательно [Purcell et al., 1963] с точностью до сечений порядка 10^{-40} см^2. Так в списке многочисленных научных достижений Парселла появился и отрицательный результат. Как заметил по этому поводу А. Абрагам, самый замечательный охотник возвращается с пустым ягдташем оттуда, где дичи нет.

В 1967 г. Парселл обратил свое внимание на некоторые проблемы биофизики, относящиеся к биомеханике, так началось его сотрудничество с Х. Бергом, которое было отмечено и патентом [Purcell and Berg, 1970] и рядом статей [Berg and Purcell, 1967]. Американский физический журнал поместил в 1977 г. текст лекции Парселла с репродукцией его оригинальных (выполненных вручную) иллюстраций и занятным названием «Жизнь при низких числах Рейнольдса» [Purcell, 1977] (рис. 14). В лекции рассматривались механизмы движения микроорганизмов. В том же 1977 г. вышла большая статья Эдварда Парселла и упомянутого уже биофизика из Гарварда Ховарда Берга [Berg and Purcell, 1977], посвященная хемотаксису микроорганизмов.

В 1970 г. Парселл возглавлял Американское физическое общество; он продолжал активную педагогическую деятельность вплоть до 1980 г., а в 1980-е гг. регулярно выступал с «заметками на оборотной стороне конверта» [Purcell, 1983–1988] и другими статьями педагогической направленности в «Американском физическом журнале».

3. Биография Феликса Блоха

Соратник Парселла по Нобелевской премии 1952 г., гораздо более именитый физик Феликс Блох (23.10.1905–10.09.1983) родился в Цюрихе (Швейцария), в семье Густава Блоха, оптового торговца зерном, и Агнес Блох (в девичестве Майер). Достаточно краткий и в то же время содержательный биографический очерк о нем можно прочитать в Нобелевском архиве [Блох, 1992] (рис. 15). Из многочисленных материалов Интернета, посвященных Феликсу Блоху, отметим записи бесед с ним [Felix Bloch, 1964, 1968, 1981].

Феликс Блох учился в гимназии Цюрихского кантона, которую окончил в 1924 г. Юноша интересовался математикой и астрономией и поступил (как и Э. Парселл) сначала на инженерную специализацию в Федеральном технологическом институте в Цюрихе. Однако, прослушав первый физический курс, Блох решил стать физиком-теоретиком, а не инженером. С 1924 по 1927 г. он учился в Федеральном институте, где среди его учителей были Петер Дебай и Эрвин Шрёдингер. Затем он учился в Лейпцигском университете у Вернера Гейзенберга. Докторскую степень он получил в 1928 г. в Лейпциге за диссертацию, посвященную проводимости электронов в металлах.

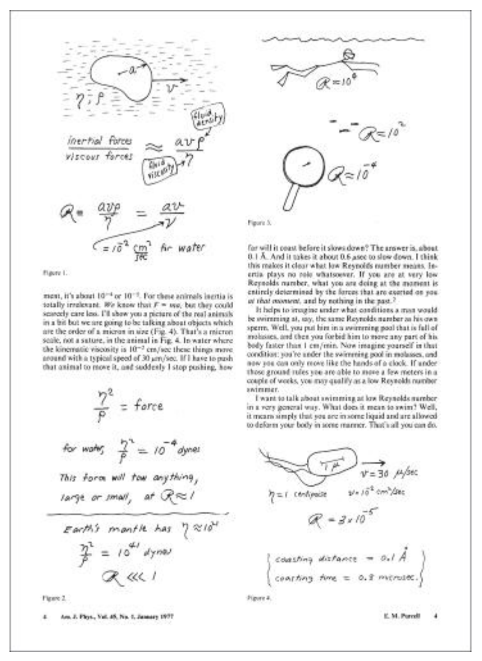


Figure 1.

ment, it's about 10^{-4} or 10^{-5}. For these animals inertia is totally irrelevant. *We* know that $F = ma$, but they could scarcely care less. I'll show you a picture of the real animals in a bit but we are going to be talking about objects which are the order of a micron in size (Fig. 4). That's a micron scale, not a suture, in the animal in Fig. 4. In water where the kinematic viscosity is 10^{-2} cm/sec these things move around with a typical speed of 30 μm/sec. If I have to push that animal to move it, and suddenly I stop pushing, how far will it coast before it slows down? The answer is, about 0.1 Å. And it takes it about 0.6 μsec to slow down. I think this makes it clear what low Reynolds number means. Inertia plays no role whatsoever. If you are at very low Reynolds number, what you are doing at the moment is entirely determined by the forces that are exerted on you *at that moment*, and by nothing in the past.[2]

It helps to imagine under what conditions a man would be swimming at, say, the same Reynolds number as his own sperm. Well, you put him in a swimming pool that is full of molasses, and then you forbid him to move any part of his body faster than 1 cm/min. Now imagine yourself in that condition: you're under the swimming pool in molasses, and now you can only move like the hands of a clock. If under those ground rules you are able to move a few meters in a couple of weeks, you may qualify as a low Reynolds number swimmer.

I want to talk about swimming at low Reynolds number in a very general way. What does it mean to swim? Well, it means simply that you are in some liquid and are allowed to deform your body in some manner. That's all you can do.

Figure 2. Figure 3. Figure 4.

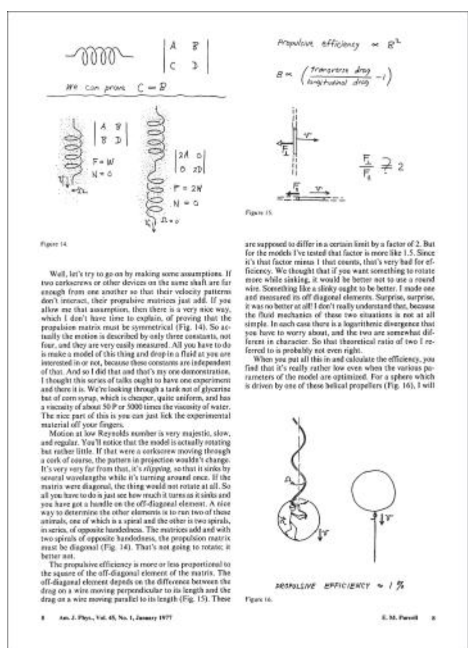


Figure 14.

Well, let's try to go on by making some assumptions. If two corkscrews or other devices on the same shaft are far enough from one another so that their velocity patterns don't interact, their propulsive matrices just add. If you allow me that assumption, then there is a very nice way, which I don't have time to explain, of proving that the propulsion matrix must be symmetrical (Fig. 14). So actually the motion is described by only three constants, not four, and they are very easily measured. All you have to do is make a model of this thing and drop in a fluid at you are interested in or not, because these constants are independent of that. And so I did that and that's my one demonstration. I thought this series of talks ought to have one experiment and there it is. We're looking through a tank not of glycerine but of corn syrup, which is cheaper, quite uniform, and has a viscosity of about 50 P or 5000 times the viscosity of water. The nice part of this is you can just lick the experimental material off your fingers.

Motion at low Reynolds number is very majestic, slow, and regular. You'll notice that the model is actually rotating but rather little. If that were a corkscrew moving through a cork of course, the pattern in projection wouldn't change. It's very very far from that, it's *slipping*, so that it sinks by several wavelengths while it's turning around once. If the matrix were diagonal, the thing would not rotate at all. So all you have to do is just see how much it turns as it sinks and you have got a handle on the off-diagonal element. A nice way to determine the other elements is to run two of these animals, one of which is a spiral and the other is two spirals, in series, of opposite handedness. The matrices add and with two spirals of opposite handedness, the propulsion matrix must be diagonal (Fig. 14). That's not going to rotate; it better not.

The propulsive efficiency is more or less proportional to the square of the off-diagonal element of the matrix. The off-diagonal element depends on the difference between the drag on a wire moving perpendicular to its length and the drag on a wire moving parallel to its length (Fig. 15). These are supposed to differ in a certain limit by a factor of 2. But for the models I've tested that factor is more like 1.5. Since it's that factor minus 1 that counts, that's very bad for efficiency. We thought that if you want something to rotate more while sinking, it would be better not to use a round wire. Something like a slinky ought to be better. I made one and measured its off diagonal elements. Surprise, surprise, it was no better at all! I don't really understand that, because the fluid mechanics of these two situations is not at all simple. In each case there is a logarithmic divergence that you have to worry about, and the two are somewhat different in character. So that theoretical ratio of two I referred to is probably not even right.

When you put all this in and calculate the efficiency, you find that it's really rather low even when the various parameters of the model are optimized. For a sphere which is driven by one of these helical propellers (Fig. 16), I will

Figure 15. Figure 16.

Рис. 14. Страницы из статьи Э.М. Парселла «Жизнь при низких числах Рейнольдса»

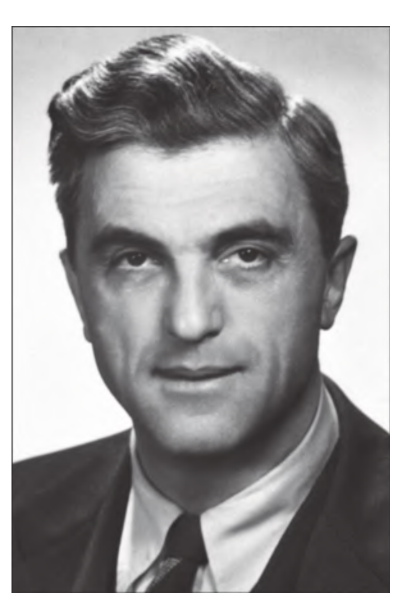


Рис. 15. Ф. Блох. Источник: архив Нобелевского фонда. https://assets.nobelprize.org/images/bloch-13087-portrait-mini-2x.jpg

В этой диссертации, которая, как сейчас признано, заложила основы ряда разделов физики твердого тела, он сформулировал теорему, определявшую вид волновых функций электрона в металлах (функции Блоха).

После завершения докторской диссертации Блох стал обладателем нескольких стипендий, позволивших ему работать с Гейзенбергом, Нильсом Бором, Энрико Ферми и Вольфгангом Паули; в течение этого периода он сделал свой основной вклад в теоретическую физику. Блох теоретически подтвердил и обосновал эмпирический закон Грюнейзена, касающийся зависимости проводимости металлов от температуры, который ныне известен как соотношение Блоха–Грюнейзена. Благодаря вкладу Блоха в теорию сверхпроводимости и в теоретическое осмысление магнитных систем целый ряд теорем и эффектов названы его именем. Это теорема Блоха в теории сверхпроводимости, закон Блоха, касающийся зависимости намагниченности ферромагнитных материалов от температуры, стенки Блоха (зоны перехода между областями ферромагнитного материала с различными ориентациями спонтанно возникающих намагниченностей). В 1932 г. Блох развил работу Н. Бора и Г. Бете по торможению движущихся заряженных частиц в веществе, получив формулу Бете–Блоха для этого эффекта. В основном эти свои выдающиеся работы, упомянутые выше, он сделал и опубликовал в Германии.

Когда Гитлер в 1933 г. пришел к власти, Блох, который был евреем, покинул Германию. Некоторое время он пытался найти себе место для спокойной работы в Европе, вступал даже в контакты с советскими физиками,

работал некоторое время в Париже. По совместной работе у В. Паули Блох был знаком с Л. Д. Ландау. Был у Ландау в гостях в Ленинграде, имел личное знакомство и переписку об устройстве в Уральском физико-техническом институте с Я. Г. Дорфманом (см. об этом в книге Н. Е. Завойской [2007, с. 120–123]), одна из статей Блоха опубликована в советском журнале [Bloch, 1934].

Однако Блох сознавал всю неустойчивость положения в Европе перед лицом назревающей нацистской агрессии и всю опасность пребывания иностранца в советской России. Блох с 1934 г. поселился в Соединенных Штатах и стал гражданином США в 1939 г. В 1940 г. Блох женился на Лоре К. Миш, физике и тоже беженке из Германии; у них было три сына и дочь.

Он стал в 1934 г. адъюнкт-профессором в Стэнфордском университете, а два года спустя занял там пост полного профессора. В это время Блох выполнил ряд важных работ по квантовой теории электромагнитного поля. Затем он исследовал недавно открытый нейтрон, предсказав, что его магнитный момент можно будет определить по рассеянию медленных нейтронов на железе и что пучок нейтронов окажется поляризованным после рассеяния на железной мишени. Эти предсказания были подтверждены в следующем году. Блох заинтересовался свойствами нейтрона и обратился к экспериментальным исследованиям. В 1930-х гг. И. А. Раби разработал резонансную методику измерения ядерных магнитных моментов в молекулярных пучках. В 1939 г. Ф. Блох вместе с Л. У. Альваресом измерил магниторезонансным методом, аналогичным методу Раби, магнитный момент нейтрона, используя циклотрон Калифорнийского университета в Беркли для генерации пучка нейтронов. Таково было первое обращение Феликса Блоха к магнитному резонансу [Alvarez and Bloch, 1940]. В 1940 г. совместно с А. Зигертом Блох опубликовал важное для методики магнитного резонанса исследование с расчетом частоты магнитного резонанса в линейно поляризованном переменном магнитном поле [Bloch and Siegert, 1940][1].

Таким образом, Ф. Блох, в отличие от Э. Парселла и Е. К. Завойского, имел уже к началу своих исследований по магнитному резонансу в конденсированной среде некоторый опыт работы в области магниторезонансных явлений.

Во время Второй мировой войны, как член Манхэттенского проекта по созданию атомной бомбы, Блох в Лос-Аламосе некоторое время исследовал свойства изотопов урана. Позднее он стал помощником руководителя группы,

[1] Как известно, наиболее простым является выражение для частоты резонанса ν_0 в магнитном поле с индукцией B_0 при определенной (допустим, по часовой стрелке при $\gamma > 0$) круговой поляризации резонансного поля: $2\pi\nu_0 = \gamma B_0$. Линейно поляризованное поле есть сумма двух противоположно вращающихся поляризованных по кругу полей. К сожалению, в достаточно солидной справке Нобелевского архива [Блох, 1992] работа [Bloch and Siegert, 1940], которая дала имя Блоха еще одному эффекту — изменению последнего соотношения за счет вклада поля с противоположно направленной круговой поляризацией (эффект Блоха–Зигерта, или сдвиг Блоха–Зигерта), не упоминается.

занимавшейся военными разработками по созданию помех радиолокаторам в исследовательской радиолаборатории Гарвардского университета.

После войны Блох вернулся в Стэнфордский университет и сразу приступил к работе над магнитным резонансом атомных ядер (протонов), для чего, естественно, применил радиоволновую технику. Физикам, изучавшим поведение атомных ядер, необходимо было с высокой степенью точности знать магнитные моменты различных типов ядер. В 1946 г. Блох предложил для этого оригинальный метод ядерной индукции (см. раздел 4 в этой главе). Хотя Блох известен многими достижениями в области физики, именно за разработку этой методики он удостоился Нобелевской премии.

Большинство изысканий Блоха после 1946 г. связано с экспериментальными и теоретическими аспектами ЯМР («ядерной индукции»). О них см. ниже. В 1954–1955 гг. Блох взял двухгодичный отпуск в Стэнфорде, чтобы стать генеральным директором ЦЕРНа (Европейского центра ядерных исследований) в Женеве (Швейцария). Об этом периоде в жизни и работе Феликса Блоха вспоминает А. Абрагам [1991, с. 191–195]. Упомянем здесь лишь то, что, по словам Абрагама, Феликс Блох был не в восторге от своего назначения, не любил административной работы и «тяжелую физику» (ускорители).

В 1963 г. Блох снова занял пост профессора в Стэнфорде. Уйдя в отставку в 1971 г., Блох вернулся в Цюрих, где и умер 10 сентября 1983 г. Блох был членом американской Национальной академии наук, Американской академии наук и искусств, Швейцарской академии естественных наук и Американского физического общества, президентом которого он был в 1965 г.

4. Вклад Е. К. Завойского, Э.М. Парселла и Ф. Блоха в развитие теории, методики и применений магнитного резонанса

Вопрос о существовании резонансного излучения при переходе между уровнями энергии, возникающими при различных ориентациях магнитных моментов во внешнем поле, был впервые поставлен П. Эренфестом и А. Эйнштейном [Einstein and Ehrenfest, 1922]. Ориентация протонных спинов молекул водорода в магнитном поле была зафиксирована в опытах О. Штерна и др. [Frisch and Stern], что дало основание Нобелевскому комитету наградить О. Штерна в 1943 г. Нобелевской премией в том числе и за «открытие магнитного момента протона»[1)]. К. Гортер (рис. 16) настойчиво, но безуспешно искал магнитный резонанс атомных ядер в веществе. Первая попытка Гортера [Gorter, 1936a], предпринятая с помощью старомодного *калориметрического* метода измерения поглощения энергии,

[1)] For his contribution to the development of the molecular ray method and his discovery of the magnetic moment of the proton, то есть «за его вклад в развитие метода молекулярных пучков и открытие им магнитного момента протонов».



Рис. 16. К. Гортер, Е. К. Завойский, К. Д. Джефрис, А. Абрагам, Б. М. Козырев. Казань, 1969. Источник: личный архив Н. Е. Завойской

дала отрицательный результат. В то же время Гортер и его сотрудники обнаружили дисперсию и абсорбцию электромагнитных колебаний в образцах, обладающих электронным парамагнетизмом при наложении внешнего магнитного поля (см., например, [Gorter, 1936b]). Тем самым была продемонстрирована частотная зависимость поглощения и рассеяния энергии электромагнитных колебаний, обусловленная зависимостью интенсивности магнитных дипольных переходов. Однако по каким-то субъективным причинам (видимо, полагая линии магнитного резонанса электронов слишком широкими или не располагая нужным диапазоном доступных магнитных полей и частот) Гортер не искал электронный парамагнитный резонанс.

Группа И. Раби вскоре наблюдала магнитные резонансы атомных ядер в молекулярных пучках [Rabi et al., 1938] (рис. 17). Затем та же группа наблюдала ЭПР в атомных пучках [Kush et al., 1940]. И, наконец, Ф. Блох и Л.У. Альварес наблюдали магнитный резонанс нейтронов в пучке нейтронов, генерированном с помощью циклотрона [Alvarez and Bloch, 1940]. Индикация резонансного поглощения во всех этих опытах проводилась с помощью детекторов частиц при их «перебросе» с помощью резонансного возбуждения из одной ориентации в другую. Череда «открытий» магнитных резонансов началась. Однако для успеха в каждом конкретном случае необходимы были специфические условия.

В это же время (1940–1941) Е. К. Завойский, С. А. Альтшулер и Б. М. Козырев искали и практически нашли ядерный магнитный резонанс в веществе. Эта группа первой встала на путь применения радиофизических методов регистрации резонансной дисперсии и поглощения, обусловленных собственно магнитным резонансом. Неудача Гортера их не обескураживала, ведь они располагали куда более чувствительным методом, а успехи группы



Рис. 17. Э. Лоуренс, Э. Ферми, И. Раби. Лос-Аламос, 1942–43. Источник: Manhattan Project: Ernest Lawrence, Enrico Fermi, and Isidor Rabi. URL: https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/images/lawrence_fermi_rabi_image.htm

Раби их вдохновляли. Завойский, как следует из его биографии (см. ссылки в [Яблоков и Фанченко, 1998, с. 10–29]), исходил из желания максимально эффективно для науки использовать метод слабого генератора («сеточного тока»). Об этом говорит тематика серии работ Завойского 1935–1939 гг., где названная методика применялась для исследования поглощения энергии электромагнитных колебаний в различных объектах (растворах электролитов, кристаллических солях и кислотах и т. д.), что не приводило к интересным или практически важным результатам. Было принято решение применить разработанный метод для наблюдения магнитного резонанса. В работе наметились серьезные успехи. Однако, трагические привходящие обстоятельства (не станем повторять их описание, данное в [Кессених, 2009, с. 744–745; Завойская, 2007, с. 28–29] и в других источниках) привели к остановке исследований по поиску ЯМР. Для их продолжения требовалось «всего лишь» найти другой магнит или усовершенствовать имеющийся. Проявив чудеса научного героизма, Евгений Константинович

Завойский при первой же возможности, а она была в условиях военной Казани действительно самой малейшей, вернулся к поискам магнитного резонанса, но на этот раз электронного парамагнитного резонанса. В отличие от педантичного, но не слишком решительного Гортера, Завойский сразу же приступил к исследованиям в той области, где ожидался электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) на объектах, где концентрация парамагнитных электронов максимальна или близка к максимальной (соли переходных элементов 3d-ряда и их концентрированные растворы).

Впрочем, причина, по которой Завойский оставил поиски ЯМР и переключился на ЭПР, составляет некоторую загадку. Действительно, Альтшулер и Козырев неоднократно писали в своих воспоминаниях об этом «переключении» Евгения Константиновича на ЭПР. «В 1943 г. Евгений Константинович не стал продолжать поиски ЯМР, а занялся изучением парамагнитной релаксации в перпендикулярных полях… Но вместе с тем совершенно непонятно, почему Евгений Константинович, который придумал и осуществил модуляцию в 1943 г., не попытался наблюдать ЯМР. Ведь это было проще, чем наблюдение ЭПР. Ничего не нужно было менять, достаточно было сунуть пробирку с водой в работающую установку. По-видимому, Евгений Константинович так увлекся исследованием ЭПР, что все остальное осталось без внимания», — сообщил С.А. Альтшулер на Первых Завойских чтениях в Казанском университете 15 октября 1982 г. [Альтшулер, 1984]. Создатель музея Е. К. Завойского в Казанском университете И. И. Силкин полагает, что как такового «переключения» не было, точнее будет сказать, что Завойский не ограничивался поисками именно ЯМР, а искал сигнал в широком диапазоне условий (И. И. Силкин, персональное сообщение). Во всяком случае, об этом говорят дневниковые записи Е. К. Завойского конца 1943–начала 1944 гг., в которых, наряду с упоминаниями изучения парамагнитных потерь в парамагнитных соединениях, регулярно встречаются планы по исследованиям «в области ожидаемого резонанса ядерными спинами», приводятся таблицы рассчитанных им значений резонансных длин волн для разных ядер и т. п. (выдержки из рабочего дневника опубликованы в книге Силкина [Силкин, 2005]). В то же время, как вспоминает далее С. А. Альтшулер [1984]: «В 1946 г. появились статьи Парселла и Блоха, в которых сообщалось о наблюдении ЯМР. Эти статьи Евгений Константинович просматривал при мне. Их появление не вызвало у него досады. Наоборот, он был доволен, что установки примерно такие же, как у него. Появление этих статей он рассматривал как продолжение и развитие его исследований ЭПР».

Удача, как говорят, сопутствует смелым и умелым. На частотах от 10 до 100 МГц и несколько выше в начале 1944 г. Завойский наблюдал ЭПР в магнитных полях с индукцией от 3 до 30 Гс (т. е. от $3 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ Тл), которые было можно получить с помощью соленоидов без железного сердечника. Высокая концентрация парамагнитных электронов не привела к чрезмерному уширению линии ЭПР, как, вероятно, боялся Гортер,

а напротив, благодаря эффекту открытого позднее так называемого обменного сужения по Ван Флеку [Gorter and van Vleck, 1947], сузила линию ЭПР в центре, оставляя, правда, широкие крылья. Некоторые простейшие парамагнетики — соли переходных элементов оказались наиболее удобными объектами для получения ЭПР.

Тот факт, что в бедной аппаратурой, кадрами, да и просто в бедной Казани был обнаружен новый тонкий физический эффект, шокировал и вызывал недоверие экспертов из Физического института АН СССР. Но факт оставался фактом и проверка, выполненная в Институте физических проблем с помощью А. И. Шальникова, доказала это. Вся эта история подробно изложена, например, в книге Н. Е. Завойской [2007]. Первая публикация работы Завойского с сообщением об открытии ЭПР на английском языке [Zavoisky, 1945] появилась с задержкой, но все же еще за полгода до появления работ Парселла и Блоха. Возможно, что она не могла повлиять на ход работ Блоха и Парселла по поискам ЯМР [1)]. Оба будущих лауреата были уже в положении «низкого старта», если будет позволено сравнивать науку со спортом высших достижений, где вечно выясняют, кто быстрее, кто выше и кто сильнее. Но главное не в этом. Применение радиоаппаратуры для наблюдения искомого эффекта уже не имело альтернативы в глазах Парселла и Блоха, непосредственно перед этим проработавших почти пять лет в лучших радиолабораториях мира. Парселл сообщал, что ему стало известно в самом начале работ по поиску ЯМР о повторной неудаче Гортера и Де Брура [Gorter and Broer, 1942] в поиске ЯМР уже на радиоаппаратуре (основанной примерно на том же принципе, что у Завойского). Этот принцип (генератор слабых колебаний с образцом в катушке колебательного контура) и впоследствии успешно применялся для экспрессного обнаружения достаточно интенсивных и не слишком узких резонансов, в частности, и одним из соавторов Парселла по первому наблюдению ЯМР Р. В. Паундом совместно с В. П. Найтом [Pound and Knight, 1950].

Надо еще сказать, что неуспех Гортера с ЯМР во многом определялся не вполне удачным выбором образцов (диамагнитные кристаллические соли) и условий (пониженные температуры) для поиска ЯМР [2)]. Но тот, у кого среди наставников были Дж. Ван Флек и И. Раби (Парселл), и тот, кто учился у П. Дебая и не менее хорошо знал Ван Флека, да и сам изучал

[1)] А вот на появление первых на западе работ по ЭПР, вышедших годом позже, она явно повлияла и фактически их стимулировала, см. ссылки в работе Cummerow and Halliday [1946].

[2)] Для наблюдения ЯМР необходимо, чтобы разность населенностей магнитных спиновых уровней не выравнивалась слишком быстро индуцированными полем резонансной частоты переходами, то есть чтобы не было эффекта насыщения резонанса. Отсутствие последнего требует достаточно интенсивного взаимодействия спинов с колебаниями решетки или с движениями молекул. Такое взаимодействие сильнее при наличии в решетке парамагнитных примесей и при некотором повышении температуры.

теорию твердого тела (Блох), такой ошибки повторить не могли, так как они хорошо осознавали роль взаимодействия системы спинов с «решеткой» (колебаниями и движениями молекул вещества).

Мораль, которая следует из вышесказанного, такова. Нельзя было взять да и открыть магнитный резонанс с одного раза. Соотношение между частотой резонанса и магнитной индукцией $\nu_0 = (\gamma/2\pi)B_0$ (условие магнитного резонанса[1]) было к 1945 г. известно (по крайней мере приблизительно) для протона, электрона и еще нескольких нуклидов. То, что магнитная индукция переменного поля резонансной частоты должна быть перпендикулярна магнитной индукции поляризующего поля также было хорошо известно. Что же еще открывать? Иногда надо было определить (измерить) гиромагнитное отношение γ для ЯМР того или иного нуклида или в современных терминах ЭПР $g = \gamma/2\pi\beta$, где β — магнетон Бора, для той или иной молекулярной или атомной системы с неспаренным электроном. Иногда надо подобрать мощность и процедуру возбуждения сигнала, учитывая те или иные условия взаимодействия спинов с решеткой. Одним словом, уже полученный на опыте Раби магнитный резонанс надо просто наблюдать каждый раз в совершенно новых обстоятельствах или, если хотите, открывать каждый раз заново для новых объектов. Взаимодействие концентрированного электронного парамагнетика с резонансным полем (ЭПР в солях переходных элементов) открыл Завойский. А вот ЭПР малых примесей переходных элементов в диамагнитных кристаллах, причем в широком диапазоне температур впервые изучила группа Блини в Оксфорде [Buggley et al., 1948]. ЭПР стабильного свободного радикала впервые наблюдали сотрудники Завойского Б. М. Козырев и С. Г. Салихов. Их работу, к сожалению, пытались объявить секретной, и она [Козырев и Салихов, 1947] появилась уже после аналогичных публикаций западных авторов. В 1949 г. впервые наблюдали ЭПР радиационных повреждений кристаллов [Hutchison, 1949] и т. д.

И, наконец, совершенно иные сюжеты, наблюдение резонанса ядер — ЯМР в диамагнитных веществах. А это могут быть газы, жидкости, стекла, кристаллы и т. д., и каждый раз условия для спин-решеточного и спин-спинового взаимодействий различны. Надо признать (на этот раз прибегая к анализу публикаций сразу после первого наблюдения ЯМР), что Парселл со всей очевидностью так же, как Завойский, руководствовался интересом к продвижению в научные исследования уникальных для того времени возможностей радиоаппаратуры. Эти возможности у Парселла, Торри и Паунда были не сравнимы с более чем скромным аппаратурным арсеналом Завойского 1940-х гг. Конструкция аппаратуры для поиска ЯМР,

---

[1] В первых работах по ЯМР в условии резонанса употреблялось H вместо B. Такое употребление H вместо B провоцировалось употреблением гауссовой магнитной системы единиц, где в вакууме индукция в гауссах равна напряженности в эрстедах. К тому же в трудах Г. Ми и А. Зоммерфельда по мнению Г. Копфермана [1960] именно H, а не B обозначает индукцию. (См. об этом также в [Кессених, 2009]).

выбранная Э.М. Парселлом, Г.К. Торри и Р.В. Паундом [Purcell et al., 1946a], в своей высокочастотной части напоминала конструкцию аппаратуры для радиолокации с поправкой на переход в другой частотный диапазон (30 МГц или $\lambda = 10$ м). Мы имеем в виду применение в качестве ячейки для образца (свыше 750 г парафина) не просто катушки, а объемного резонатора, хотя и нагруженного емкостью.

Обратим внимание на список первых работ по ЯМР с участием Парселла. ЯМР протонов наблюдался впервые в парафине [Purcell et al., 1946a]. Последовало наблюдение ЯМР протонов в газообразном водороде [Purcell et al., 1946b], затем наблюдение анизотропных свойств ЯМР ядер фтора ^{19}F в монокристалле CaF_2 [Purcell et al., 1946]. Через три года последовала публикация о ЯМР в жестких кристаллических решетках, где понятие спектрального момента было введено в практическую спектроскопию [Gutowsky et al., 1949]. Наконец, был изучен ЯМР в твердом водороде [Reif et al., 1953].

Внимание Парселла неоднократно переключалось на изучение особенностей явления ЯМР и взаимодействия системы ядерных магнитных моментов с аппаратурой и веществом (решеткой). Таковы работа Парселла и Паунда об отрицательной спиновой температуре в ядерной спиновой системе [Purcell and Pound 1951], знаменитая ВРР — работа Бломбергена, Парселла, Паунда о релаксационных эффектах в жидкости [Bloembergen et al., 1948]. Последняя работа на долгие годы стала ключевой для анализа проблем уширения линий и насыщения ЯМР в практической спектроскопии жидких растворов. Работа Парселла и Пейка о форме линии ЯМР [Pake and Purcell, 1948] оказала заметное влияние на терминологию спектроскопии ЯМР. Эта работа положила начало классификации функций формы линий ЯМР (в «нулевом приближении» — лоренцева или гауссова).

Одной из работ Парселла, имевшей общефизическое значение, хотя и основанной на эффекте, легче всего наблюдаемом при возбуждении ЯМР, послужила работа о спонтанном излучении на радиочастотах при взаимодействии системы магнитных моментов с резонансным контуром [Purcell, 1946] высокой добротности. Известные соотношения Эйнштейна указывают, что вероятность спонтанного излучения системы осцилляторов A_v с частотой v пропорциональна v^3 (т.е. числу осцилляторов поля излучения в единице объема $8\pi v^2/c^3$, умноженному на энергию осциллятора hv). Однако в резонаторе объемом V с добротностью Q первый из названных сомножителей возрастает в $(3\lambda^3/4\pi)(Q/V)$ раз, где λ — длина волны. Эту работу Парселл обнародовал на заседании Американского физического общества сразу после первых наблюдений ЯМР. Эффекты спонтанного излучения при взаимодействии поляронов с резонансными структурами в кристаллах в одном из недавних литературных источников имеют также название «эффекта Парселла» [Hideo et al., 2010].

В 1949 г. Парселл опубликовал выполненное им серьезное метрологическое исследование по измерению магнитного момента протона в магнетонах Бора [Purcell, 1949] путем сопоставления частоты диамагнитного

(циклотронного) резонанса и частоты протонного магнитного резонанса в одном и том же магнитном поле.

Выдающейся методической работой, которую выполнил Парселл совместно с Германом Карром, была работа [Carr and Purcell, 1954], во многом предвосхитившая технику многоимпульсных последовательностей возбуждения ЯМР («спиновую хореографию», по меткому выражению автора работы [Freeman, 1997]).

Специально подобранные импульсные последовательности широко применяются ныне для многомерного химического ЯМР (например, Эрнст и др. [1987]) и для ядерной магнитной томографии [Lauterbur, 1973; Mansfield, 1977].

Непосредственным результатом этого исследования было создание метода измерения диффузионной постоянной молекул в жидкости при многократном импульсном возбуждении ЯМР в неоднородном поляризующем магнитном поле.

В дальнейшем это привело также к созданию методов по выделению в спектре ЯМР сигналов тяжелых (медленно диффундирующих) на фоне быстро затухающих сигналов легких (быстро диффундирующих в области образца с другими значениями индукции поляризующего поля и резонансной частоты) молекул (спектроскопия DOSY = Diffusion Ordered SpectroscopY).

Мотивация Феликса Блоха, лидера стэнфордской группы искателей ЯМР (Ф. Блох, Вильям Хэнсен и Мартин Паккард), была, по нашему мнению, в этой работе двоякой и исходила, во-первых, из его уже имевшегося опыта работы с магнитным резонансом [Bloch and Siegert, 1940; Alvarez and Bloch, 1940]. Во-вторых, интерес Блоха к магнитному резонансу был связан также и с исследованиями магнитных свойств нейтрона (см. об этом в [Завойская, 2007, с. 125–126] цитату из воспоминаний одного из соавторов Ф. Блоха Г. Штауба). Аппаратура для наблюдения магнитного резонанса протонов у группы Блоха была оригинальной. Приемная катушка имела ось, перпендикулярную оси передающей («скрещенные катушки Блоха», у которого почти все, чего он касался, получало его имя!). Если до появления резонанса наводка электромагнитного сигнала с возбуждающей катушки на приемную была скомпенсирована (для этого имелись специальные устройства «лопатки»), появление сигнала в приемнике могло происходить только из-за возбуждения прецессии магнитного момента протонов образца (в первом опыте — раствора парамагнитной соли в воде), помещенного в приемную катушку. Это Блох и назвал ядерной индукцией, что напоминает нам о работе с участием Блоха [Bloch and Siegert, 1940], в которой он изучал особенности возбуждения сигнала магнитного резонанса вращающимся и линейно поляризованным магнитными полями. Блох создал и простой и эффективный теоретический аппарат [Bloch et al., 1946b], который позволял феноменологически описать явление ядерного магнитного резонанса макроскопического магнитного момента образца. Это векторное

дифференциальное уравнение или, соответственно, три линейных дифференциальных уравнения для компонент магнитного момента, которые… ну, конечно, немедленно получили наименование «уравнений Блоха».

Потребовалось некоторое время, чтобы авторы двух различных схем возбуждения ЯМР пришли к пониманию, что и та и другая схемы хотя и различны по техническому воплощению, но схожи по идее регистрации нарушения фазового и энергетического баланса в определенных частях аппаратуры. Нарушение происходит за счет сигнала ядерного магнитного резонанса, а уравнения Блоха одинаково применимы (как показали последующие работы самого Блоха, чаще в жидкости) или неприменимы (в зависимости от природы вещества, в котором наблюдается ЯМР) при любом способе возбуждения и приема сигналов ЯМР. В нулевом приближении поведение магнитного момента почти любого образца можно описать с помощью уравнений Блоха.

Блох не преминул применить новый метод для новых и более точных определений магнитного момента нейтрона в свободном и в связанном состояниях. Магнитные моменты трития (нуклида тяжелого изотопа водорода, содержащего два нейтрона и один протон) были измерены методом ЯМР [Bloch et al., 1947a]. Уточнено было и значение магнитного момента дейтрона [Bloch et al., 1946b].

Наконец, по инициативе Ф. Блоха, в одном и том же магнитном поле было проведено сравнение резонансных частот нейтрона и протона [Bloch et al., 1948], то есть был осуществлен план, о котором Блох рассказывал в первые месяцы после возвращения в Стэнфорд.

Особняком стояла работа, в которой была изучена релаксация ядер в газе при их взаимодействии с парамагнитными центрами на поверхности сосуда, содержащего газ [Bloch, 1951]. Парамагнитные центры (как и в жидкости), по определению Блоха, служат «катализаторами ядерной парамагнитной релаксации». Этот термин прижился в лабораторном жаргоне. Замечательным вкладом в технику ЯМР стала последняя экспериментальная работа Блоха в этой области [Bloch, 1954]. В этой работе было предложено устранять влияние азимутальной неоднородности индукции магнитного поля в объеме образца на уширение наблюдаемой линии ЯМР путем быстрого вращения образца[1]. Эта методика быстро утвердилась в лабораторной практике высокого разрешения ЯМР. На то время она способствовала повышению разрешающей способности спектрометров ЯМР почти на порядок.

Феликс Блох вернулся к теоретическим разработкам после 1952 г. Он сосредоточился на обосновании «уравнений Блоха». Область их применимости оценивалась им исходя из представлений статистической физики [Wangsness and Bloch, 1953; Bloch, 1956]. Анатоль Абрагам, впоследствии

[1] Если частота вращения $\nu_{\mathrm{rot}} \gg (\delta B \cdot \gamma)$, где δB — максимальная азимутальная неоднородность индукции магнитного поля в объеме образца, спектрометр показывает частоту резонанса, равную среднему значению (усредняет разброс частот и сужает резонансную линию).

сумевший включить основные идеи этих работ в свою «Библию ЯМР» (книгу «Ядерный магнетизм» [Абрагам, 1963]), так изложил свое первое впечатление от них в [Абрагам, 1991, с. 193]:

«Блох запросил мое мнение о работе, и я выразил грандиозность предприятия одним словом “Gottverdämmerung”[1)]». Некоторые более поздние работы Блоха также относились к квантово-статистической теории ЯМР [Bloch, 1957, 1958].

Один из соавторов Блоха по открытию ЯМР Билл Хэнсен, скончавшийся в 1949 г., имел тесные связи с весьма активными и квалифицированными предпринимателями в области электроники братьями Расселом и Сигурдом Варианами (рис. 18). Последние инициировали уже в 1946 г. подачу заявки и оформление патента на «Метод и средства *для химического анализа* посредством ядерных индукций». Блох сперва не проявил интереса к получению патента (по словам Вестона Андерсона [Anderson, 1996]). Однако Рассел Вариан был настойчив и взял на себя подготовку заявки (см. там же). Патент был получен в 1951 г. и, конечно, приобретен фирмой «Вариан», фамильным предприятием упомянутых выше братьев. Первый пункт патента в окончательной редакции объединял все магнитные резонансы, включая и ЭПР. Вестон Андерсон описал историю с патентом в «Энциклопедии ЯМР» (описание частично цитируется Н.Е. Завойской [2007, с. 134–135]). Об этом же (о расширении формулы патента) упоминал и Р. Паунд в своем письме Н. Е. Завойской в 2003 г. [Завойская, 2007, с. 14–15]. Из этого описания видно, что изменение заявки с неявным включением ЭПР последовало уже позднее, в процессе разборок с другими претендентами на аналогичные изобретения.

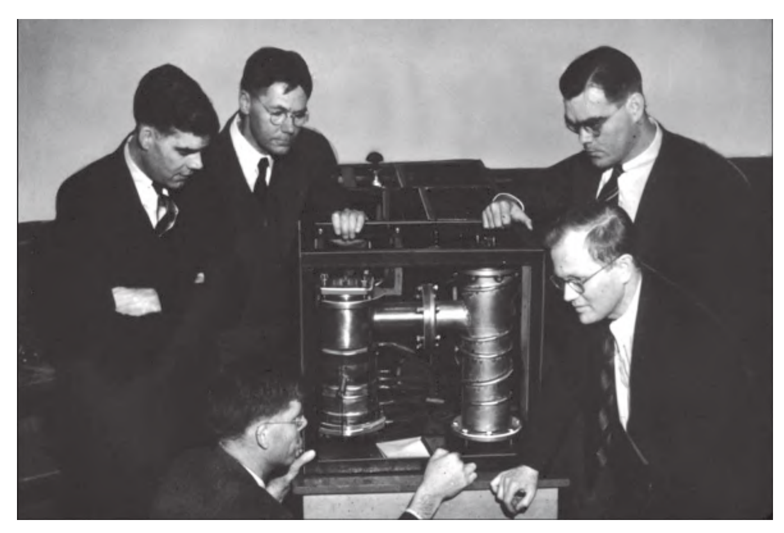
Фирма «Вариан» более 15 лет была ведущей в приборостроении ЯМР и, конечно, с лихвой окупила свои затраты на патент, в том числе и на лицензионные выплаты Блоху. Так, ядерный магнитный резонанс перестал быть «всего лишь идеей» («Lonely idea» по Лорену Грэхему [Ваганов, 2011]) и начал приносить прибыль, а заодно и зарабатывать средства для своего дальнейшего развития[2)].

Фирма «Вариан» до начала XXI века успешно конкурировала на рынке приборов ЯМР (а до 1980-х — и ЭПР) именно *для химического анализа* (какова прозорливость толковых дельцов!) с постепенно набиравшей обороты и, наконец, почти полностью победившей в конкурентной борьбе швейцарско-немецкой фирмой «Брукер Спектроспин». Возникновение и успешное развитие этой новой фирмы (а также некоторых других) пока-

---

[1)] Пер. с нем. «Гибель богов» («Осуждение богов») — опера Рихарда Вагнера, произведение, оставляющее грандиозное впечатление.

[2)] Например, переход от непрерывного возбуждения и наблюдения ЯМР к импульсному возбуждению с последующим Фурье преобразованием отклика, был основан на патенте Р. Эрнста и В. Андерсона [Anderson and Ernst, 1969], полученного на основе разработок лаборатории фирмы «Вариан». Впрочем, опубликованные результаты других исследователей позволяли конкурентам «Вариана» обойти и этот патент.



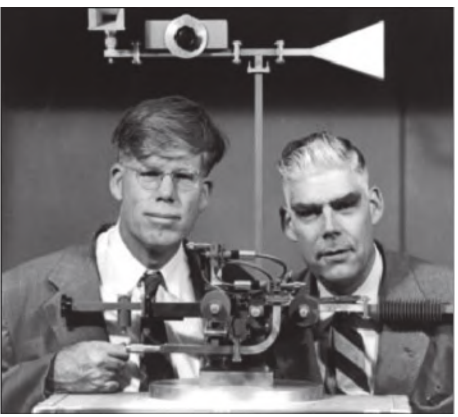


Рис. 18. Вверху: Рассел Вариан (на переднем плане, регулирует 40-см. клистрон). Стоят (слева направо): Сигурд Вариан, Дэвид Уэбстер, Уильям Хансен и Джон Вудьярд. Стэнфордский университет, США, 1939 г. Источник: https://ethw.org/Klystron. Внизу: Братья Рассел и Сигурд Вариан. Источник:. URL: https://www.varian.com/1937/

зало, однако, что открытые публикации ряда исследователей, в том числе и Парселла и, конечно, Е. К. Завойского, создавали многочисленные лазейки для обхода патента, чем и пользовались конкуренты «Вариана».

Своими исследованиями в области ЯМР известны выдающиеся ученики Э. Парселла (Н. Бломберген, Г. Карр, Р. Паунд, Дж. Пейк, Г. Торри и др.). Среди них наибольших успехов, правда, уже на другом поприще, достиг Николаас Бломберген (лауреат Нобелевской премии по физике 1981 г. за лазерную спектроскопию). Об их работах, совместных с Парселлом, мы уже упоминали. Стоит еще вспомнить знаменитый «пейковский» дублет — характерный

фрагмент спектра ЯМР в кристаллогидратах, обязанный своим происхождением дипольному взаимодействию относительно изолированной пары протонов H_2O [Pake, 1948].

Многие из сотрудников Ф. Блоха продолжили свои исследования в лаборатории фирмы «Вариан». Среди них самый молодой из группы, наблюдавшей магнитный резонанс, Мартин Паккард и весьма успешный исследователь и изобретатель Вестон Андерсон, которого мы уже упоминали выше. Решения уравнений Блоха при быстром прохождении через резонанс нашел в соавторстве с Б. А. Джекобсоном теоретик Р. К. Вангснесс [Jacobsohn and Wangsness, 1948]. Он же участвовал в дальнейшем в квантово-статистическом обосновании уравнений Блоха [Wangsness, 1953].

Работы Блоха и Парселла непосредственно повлияли на развертывание исследований ЯМР в СССР. Ссылки на них имеются в первой русскоязычной публикации по ЯМР К. В. Владимирского 1947 г. [Владимирский, 1947]. Сборник рефератов статей по ЯМР, опубликованных в иностранной литературе с 1942 по 1950 г., вышедший в Издательстве иностранной литературы [Научно-реферативный сборник…, 1950], был настольной литературой, например, в лаборатории С.Д. Гвоздовера в МГУ[1)].

Нам известно, что применение ЯМР имело место в 1950–1951 гг., то есть под непосредственным влиянием работ Блоха и Парселла, также в таких научно-технических центрах СССР, как лаборатория № 3 (будущий ТТЛ и позже ИТЭФ Средмаша СССР), Сухумский физико-технический институт, завод «Электросила» в Ленинграде (см. об этом в [Кессених, 2007]).

Литература к главе 1

1. *Alvarez L.W.*, *Bloch F.* A quantitative determination of the neutron moment in absolute nuclear magnetons // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57, No 2. — P. 111–122.
2. *Anderson W.*, *Ernst R.* Patent US-A 3475680 (Impulse Resonance Spectrometer Including a Time Averaging Computer and a Fourier Analyser). 1969. (Submitted May 26 1965).
3. *Anderson W.A.* Early NMR experiences and experiments // Encyclopedia of NMR. Chichester, New-York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sohns, 1996. — Vol. 1. — P. 168–176.
4. *Bayley D.K. et al.* A New Kind of Radio Propagation at Very High Frequencies Observable over Long Distances // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 86, No. 2. — P. 141–145.
5. *Berg H.C.*, *Purcell E.M.* Physics of chemoreception. // Biophys. J. — 1977. — Vol. 20, No 2. — P. 193–219.

[1)] Первая работа С. Д. Гвоздовера по ЯМР [Гвоздовер и Магазаник, 1950] была опубликована как раз в 1950 г.

6. *Berg H. C. and Purcell E. M.* A method for separating according to mass a mixture of macromolecules or small particles suspended in a fluid, I. Theory // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1967. — Vol. 58. — P. 862–869; *Berg H. C.*, *Purcell E. M.* and *Stewart W. W.* …, II. Experiments in a gravitational field // ibid. P. 1286–1291. *Berg H. C. and Purcell E. M.* …, III. Experiments in a centrifugal field. // ibid. — P. 1821–1828.
7. *Bloch F.* Die physikalishe Bedeutung mehrerer Zeiten in der Quantenelektrodynamik // Phys. Zsch. der Sowietunion. — 1934. — Bd. 5. — S. 302–315.
8. *Bloch F.* Dynamical Theory of Nuclear Induction. II // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 1. — P. 104–135.
9. *Bloch F.* Generalized Theory of Relaxation // Phys. Rev. — 1957. — Vol.105, No 4. — P. 1206–1222.
10. *Bloch F.* Nuclear induction // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70, No 7/8. — P. 460–474.
11. *Bloch F.* Theory of Line Narrowing by Double-Frequency Irradiation // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 111, No 3. — P 841–853.
12. *Bloch F.*, *Groves A. C.*, *Packard M.*, *Spence R. W.* Spin and magnetic moment of tritium // Phys. Rev. — 1947a. — Vol. 71, No 3. — P. 373–374.
13. *Bloch F.*, *Hansen W. W.*, *Packard M.* Nuclear Induction // Phys.Rev. — 1946a. — Vol. 69, No 3. — P. 127.
14. *Bloch F.*, *Hansen W. W.*, *Packard M.* Nuclear Induction Experiments // Phys. Rev. — 1946b. — Vol. 70, No 7–8. — P. 474–485.
15. *Bloch F.*, *Levinthal E. C.*, *Packard M. E.* Relative Nuclear Moments of ^{1}H and ^{2}H // Phys. Rev. — 1947b. — Vol. 72, No 11. — P. 1125–1126.
16. *Bloch F.* Line-Narrowing by Macroscopic Motion // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 496–497.
17. *Bloch F.*, *Nicodemus D.*, *Staub H. H.* A Quantitative Determination of the Magnetic Moment of the Neutron in Units of the Proton Moment // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74. — P. 1025–1045.
18. *Bloch F.* Nuclear Relaxation in Gases by Surface Catalysis // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 1062–1063.
19. *Bloch F.*, *Siegert A.* Magnetic resonance for nonrotating fields // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57, No 6. — P. 522–527.
20. *Bloembergen N.*, *Purcell E. M.*, *Pound R. V.* Relaxation effects in nuclear magnetic absorption // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73, No 7. — P. 679–691.
21. *Buggley D. M. S.*, *Bleaney B.*, *Griffiths J. H. S.*, *Penrose R. P.*, *Plumpton B. I.* Paramagnetic resonance in salts of the iron group. A preliminary survey. I. Theoretical discussion // Proceedings of the physical society. London. — 1948. — Vol. 61, No 6. — P. 542–550; II. Experimental results // ibidem. — P. 551–561.

22. *Carr H. Y.*, *Purcell E. M.* Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 630–638.

23. *Cummerow R. L.*, *Halliday D.* Paramagnetic losses in two manganous salts // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70, No 5–6. — P. 433.

24. *Dr. Edward Purcell*, 84, Dies; Shared Nobel Prize in Physics // The New York Times March 10 1997; https://www.nytimes.com/1997/03/10/us/dr-edward-purcell-84-dies-shared-nobel-prize-in-physics.html

25. *Edward Mills Purcell* / web-resource: American Institute of Physics, Physics History Network. https://history.aip.org/phn/11603005.html

26. *Edward M. Purcell.* An Interview Conducted by John Bryantan. Interview #101 // IEEE History Center. 14 June 1991. http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/history_center/oral_history/pdfs/Purcell101.pdf, http://ed-thelen.org/EdwardMPurcell-interview-.html

27. *Edward Purcell* — Session 1. Interview by Katherine R. Sopka At Lyman Laboratory of Physics, Harvard University, Cambridge, Massachusetts June 8, 1977. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4835–1

28. *Edward Mills Purcell*. Research and Development of the U.S. Department of Energy (DOE R&D Accomplishements). Edward Mills Purcell — eNotes.com Reference // www.osti.gov/accomplishments/purcell.html

29. *Einstein A.*, *Ehrenfest P.* Quantentheoretische Bemerkungen zum Experiment von Stern und Gerlach // Zschr. Phys. — 1922. — Bd. 11. — S. 31–34.

30. *Ewen H. I.*, *Purcell E. M.* Observation of a Line in the Galactic Spectrum: Radiation from Galactic Hydrogen at 1,420 Mc./sec // Nature. — 1951. — Vol. 168 (4270). — P. 356.

31. *Felix Bloch*. Interview by Thomas S. Kuhn. Palo Alto, California. May 14, 1964. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4509

32. *Felix Bloch*. Interview by Charles Weiner. Varian Physics Building, Stanford University, California. August 15, 1968. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4510

33. *Felix Bloch*. Interview by Lillian Hoddeson. Stanford University. December 15, 1981. https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/5004

34. *Fermi E.* Über die magnetischen Momente der Atomkerne // Zschr. F. Phys. — 1930. — Bd. 60. — S. 320–333.

35. For ex.: Purcell E.M., Editor: The Back Of The Envelope: New Problems.

36. *Freeman R.* Spin Choreography. Basic Steps in High Resolution NMR Spektrum. Oxford.: Academic Press. 1997.

37. *Frisch R.*, *Stern O.* Über die magnetische Ablenkung der Wasserstoffmolekülen in magnetischen Felder und magnetische Moment des Protons // Zs. Phys. — 1933. — Bd. 85, H 1–2. — S. 4–16.
38. *Estermann I.*, *Stern O.* Über die magnetische Ablenkung der Wasserstoffmolekülen in magnetischen Felder und magnetische Moment des Protons. 2 // ibidem. — S. 17–26.
39. *Gorter C.J.* Negative result of an attempt to detect nuclear magnetic spins // Physica. — 1936a. — Vol. 3, No 9. — P. 995–998.
40. *Gorter C.J.* Paramagnetic relaxation in a transversal magnetic field // Physica. — 1936b. — Vol. 3, No 9. — P. 1006–1008.
41. *Gorter C.J.*, *van Vleck J.* The role of exchange interaction in paramagnetic absorption // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 10. — P. 1128–1129; *Van Vleck J.H.* Dipolar broadening of magnetic resonance lines in crystals // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 9. — P. 1168–1183. [См. *Ван-Флек Дж.* Дипольное расширение линий магнитного резонанса в кристаллах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С.В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 71–87.]
42. *Gorter C.J.*, *Broer L.J.F.* The Negative Results of an Attempt to observe Nuclear Magnetic Resonance // Physica. — 1942. — Vol. 9. — P. 591–596.
43. *Gutowsky H.S.*, *Kistiakowsky G.B.*, *Pake G.E.*, *Purcell E.M.*, *Hebb M.H.*, *Purcell E.M.* A Theoretical Study of magnetic cooling experiment // J. Chem. Phys. — 1937. — Vol. 5, No 5. — P. 338–350.
44. *Heitler W.*, *Teller E.* Time effect in the magnetic cooling method. I // Proc. Roy. Soc. — 1936. — Vol. 155A, No 886. — P. 629–639.
45. *Hideo I.*, *Englund D.*, *Vuckovic J.* Analysis of the Purcell effect in photonic and plasmonic crystals with losses // Optics Express. — 2010. — Vol. 18, No 16. — 16546 / http://www.stanford.edu/group/nqp/
46. *Hutchison C.A.* Paramagnetic resonance absorption in crystals colored by irradiation // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 5. — P. 1769–1770.
47. *Jacobsohn B.A.*, *Wangsness R.K.* Shapes of nuclear induction signals // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73, No 9. — P. 942–946.
48. *Kush P.*, *Millman S.*, *Rabi I.I.* Radiofrequency spectra of atoms.Hyperfine structure and Zeeman effect in the ground state of Li6, Li 7, K39 and K41 // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57. — P. 765–780.
49. *Lauterbur P.C.* The image formation by induced local interaction // Nature. — 1973. — Vol. 242. — P. 190–191.
50. *Mansfield P.* Multi-planar image formation using NMR spin-echoes // J. Phys. C. Solid state physics. — 1977. — Vol. 10. — P. 155–158.
51. *Pake G.E.* Nuclear resonance absorption in hydrogenated crystals. Fine structure of the proton line // J. Chem. Phys. — 1948. — Vol. 16. — P. 327–336.

52. *Pake G. E., Purcell E. M.* Line shape in nuclear paramagnetism // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 9. — P. 1184–1188.
53. Phys. Rev. — 1938. — Vol. 54, No 10. — P. 818–826.
54. *Pound R. V.* Edward Mills Purcell. A Biographical Memoir. The National Academic Press, Washington, D.C. — 2000. http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/purcell-e-m.pdf
55. *Pound R. V.*, *Knight W. P.* A Radiofrequency Spectrograph and Simple Magnetic-Field Meter // Rev. Sci. Instrum. — 1950. — Vol. 21. — P. 219.
56. *Purcell E. M.* The Focusing of Charged Particles by a Spherical Condenser // Physical Review. — 1938. — Vol. 54(10). — P. 818.
57. *Purcell E. M.* Editor: Solutions to December Problems // American Journal of Physics. — January 1984. — Vol. 52, Iss. 1. — P. 8.
58. *Purcell E. M.* A Precise Determination of the Proton Magnetic Moment in Bohr Magnetons // Physical Review. — 1949. — Vol. 76, Iss. 8. — P. 1262–1263.
59. *Purcell E. M.* Electricity and Magnetism. Berkeley Physics Course, Vol. II. — New York: McGraw Hill, 1965. [*Парселл Э. М.* Электричество и магнетизм. Берклеевский курс физики. Т. 2. — М.: Наука Физматлит, 1975.]
60. *Purcell E. M.* On the alignment of interstellar dust // Physica. — 1969. — Vol. 41, No 1. — P. 100–127.
61. *Purcell E. M.* Spontaneous Emission Probabilities at Radio Frequencies // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69. — P. 681.
62. *Purcell E. M.*, *Pennypacker C. R.* Scattering and absorption of light by non-spherical dielectric grains // Astrophysical Journal. — 1973. — Vol. 186. — P. 705.
63. *Purcell E. M.*, *Pound R. V.* A Nuclear Spin System at Negative Temperature // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 279–280.
64. *Purcell E. M.*, *Ramsay N. F.* On the Possibility of Electric Dipole Moments for Elementary Particles and Nuclei // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 78, No 6. — P. 807.
65. *Purcell E. M.*, *Bloembergen N.*, *Pound R. V.* Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Single Crystal of CaF_2 // Phys. Rev. — 1946b. — Vol. 70. — P. 988.
66. *Purcell E. M.*, *Collins G. B.*, *Hornbostel J.*, *Fujii T.*, and *Turkot F.* Search for the Dirac monopole with 30-BeV protons // Phys. Rev. — 1963. — Vol. 129, No 5. — P. 2326–2336.
67. *Purcell E. M.*, *Pound R. V.*, *Bloembergen N.* Nuclear Magnetic Absorption in Hydrogen Gas // Phys. Rev. — 1946a. — Vol. 70. — P. 986–987.
68. *Purcell E. M.*, *Torrey H. C.*, *Pound R. V.* Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69, No 1–2. — P. 37–38.

69. *Purcell E.M., Spitzer L., Jr.* Orientation of Rotating Grains // Astrophys. J. — 1971. — Vol. 167, No 1. — P. 31–62
70. *Purcell E.M. and Berg H.C.* Particle separator. U.S. Patent 3,523,610 (1970).
71. *Purcell E.M.* Life at low Reynolds numbers // Am. J. Phys. — 1977. — Vol. 45, No 1. — P. 3–11.
72. *Purcell E.M.* The back of the envelope // Am. J. Phys. — 1983–1988. — See vols. 51, 52, 55, and 56.
73. *Rabi I.I., Zacharias J.R., Millman S., Kush P.* A new method of measuring nuclear magnetic moment // Phys. Rev. — 1938. — Vol. 53, No 4. — P. 318.
74. *Reif F., Purcell E.M.* Nuclear magnetic resonance in solid hydrogen // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 91, No 3. — P. 631–641.
75. *Rollin B.V.* Nuclear magnetic resonance and spin lattice equilibrium // Nature. — 1946. — Vol. 158, No 4019. — P. 669–670 (CaF_2. Clarendon lab. Oxford).
76. *Smith S.J., Purcell E.M.* Visible Light from Localized Surface Charges Moving across a Grating // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 92. — P. 1069.
77. Structural Investigations by Means of Nuclear Magnetism. I. Rigid Crystal Lattices // J. Chem. Phys. — 1949. — Vol. 17. — P. 972.
78. *Wangsness R.K., Bloch F.* The Dynamical Theory of Nuclear Induction // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 89, No. 4. — P. 728–739
79. *Woods K.J., Walsh J.E., Stoner R.E., Kirk H.G., Fernow R.C.* Forward Directed Smith-Purcell Radiation from Relativistic Electrons // Phys. Rev. Lett. — 1995. — Vol. 74, No 19. — P. 3808–3811
80. *Zavoisky E.K.* Spin magnetic Resonance in paramagnetics // J. Phys. USSR. — 1945. — Vol. 9. — P. 245.
81. *Абрагам А.* Время вспять, или Физик, физик, где ты был. Пер. с франц. (с изм. и доп.) автора / Под. ред. А.С. Боровика-Романова. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. — 392 с.
82. *Абрагам А.* Ядерный магнетизм (пер. с англ.). — М.: Издательство иностранной литературы, 1963. — 551 с. [*Abragam A.* Principles of nuclear magnetism. — Oxford: Clarendon press, 1961.]
83. *Альтшулер С.А.* О жизни и научной деятельности академика Е.К. Завойского // В сб.: Парамагнитный резонанс. — Казань: Изд-во КГУ, 1984. — Вып. 20. С. 13–23. Перепечатано в сб.: Чародей эксперимента. С. 5–11.
84. *Альтшулер С.А., Козырев Б.М.* К истории открытия электронного парамагнитного резонанса // В сб.: Парамагнитный резонанс. 1944–1969 гг. — М.: «Наука», 1971. — С. 25–31. Перепечатано в сб.: Чародей эксперимента. С. 12–17.

85. *Альшулер Н. С.*, *Ларионов А. Л.* Страницы научной и личной биографии С. А. Альтшулера // В сб.: К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты / Сост. и ред. В. П. Визгин, А. В. Кессених и К. А. Томилин. — СПб.: РХГА. 2014. — 560 с. С. 263–314.

86. *Антонова Р. А.* Штрихи к портрету. В сб.: Чародей эксперимента. — С. 104–106.

87. АРАН, 1941а Ф.515, Оп.1, д. 9, л. 187. Распоряжение № 50 по АН СССР от 02 сент. 1941 г.

88. АРАН, 1941б Ф.515, Оп.1, д. 9, л. 206–206об. Акт передачи от 31 июля 1941 г.

89. *Аскарьян Г. А.* Памяти Е. К. Завойского // В сб.: Чародей эксперимента. — М.: Наука, 1993. — С. 91–95.

90. *Бабыкин М. В.*, *Калиняк А. А.*, *Плахов А. Г.* Результаты наблюдения солнечной короны по материалам затмения 30 июня 1954 г. // Известия ГАО в Пулкове. — 1956. — Т. 20(156), вып. 3. — С. 67–74.

91. *Блох Ф.* Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия: Пер. с англ. с дополнениями. — М.: Прогресс, 1992. [Nobel prize winners: an H.W. Wilson biographical dictionary. The H. W. Wilson Company, 1987]./n-t.ru/nl/fz/bloch.htm/

92. *Ваганов А.* Технологии в идеологической западне. Интервью с заслуженным профессором в отставке Л. Грэхемом // Независимая газета. — № 17 (221) от 28.12.2011.

93. *Владимирский К. В.* О колебательных явлениях в парамагнетизме ядер // ДАН СССР. — 1947. — Т. 58, № 8. — С. 1625–1628.

94. *Вонсовский С. В.* Воспоминания об академике Е. К. Завойском // В сб.: Чародей эксперимента. — М.: Наука, 1993. — С. 21–27.

95. *Гаврин П. П.* Годы, о которых я люблю вспоминать. В сб.: Чародей эксперимента. — С. 82–84.

96. *Гвоздовер С. Д.*, *Магазаник А. А.* Изучение парамагнетизма атомных ядер методом магнито-спинового резонанса // ЖЭТФ. — 1950. — Т. 20. — С. 705–721.

97. *Гинзбург В. Л.* (1998). Почему советские ученые не всегда получали заслуженные ими Нобелевские премии // Вестник Российской академии наук. — Т. 68(1). — С. 51–54.

98. *Завойская Н. Е.* Слово об отце. В сб.: Чародей эксперимента. — М.: Наука, 1993. — 255 с.

99. *Завойская Н. Е.* Ученик и учитель. В сб.: Чародей эксперимента. — 2017а. — Архив РАН. Ф.1943

100. *Завойская Н. Е.* Путешествие в глубь веков. В сб.: Чародей эксперимента. — 2017б. — Архив РАН. Ф.1943.

101. *Завойская Н. Е.* История одного открытия. — М.: ООО «Группа ИТД», 2007. — 208 с.

102. *Завойская Н. Е.* Современники. Sine ira et studio. Семь искусств, № 8. 28.08.2012.

103. *Завойский Е. К.* Казанский университет конца двадцатых–тридцатых годов // В сб.: Чародей эксперимента. В. Д. Новиков, Н. Е. Завойская (ред.-сост.) — М.: Наука, 1993. — С. 212–222.

104. *Кастлер А.* К вопросу о предыстории открытия электронного парамагнитного резонанса. В сб.: Парамагнитный резонанс (1944–1969). — М.: Наука, 1971. — С. 14.

105. *Кессених А. В.* (2017). Преминя имени академика Е. К. Завойского (к 110-летию со дня рождения) // В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, посвященная 85-летию ИИЕТ РАН, 2017. — М.: Янус-К. — С. 273–275.

106. *Кессених А. В.* Как у нас в СССР покоряли ЯМР (развитие аналитических методов ЯМР в СССР и России) // Исследования по истории физики и механики. — 2007. — М.: Наука, 2008. — С. 148–194.

107. *Кессених А. В.* Открытие, исследования и применения магнитного резонанса // УФН. — 2009. — Т. 179, вып. 7. — С. 737–764. [*Kessenikh A. V.* Magnetic resonance: discovery, investigations, and applications // Physics-Uspekhi. — 2009. — Vol. 52, No 7. — P. 695–722.]

108. *Козырев Б. М.* Зарисовки к портрету // В сб.: Чародей эксперимента. Рукопись. Архив РАН, ф.1943.

109. *Козырев Б. М.*, *Салихов С. Г.* Парамагнитная релаксация в пентафенилциклопентадиениле // ДАН СССР. — 1947. — Т. 58, № 6. — С. 1023–1025.

110. *Копейкина Л.И.* Памяти Е. К. Завойского. В сб.: Чародей эксперимента. — М.: Наука, 1993. — С. 171–172.

111. *Копферман Г.* Ядерные моменты. Пер. с нем. — М.: ИИЛ. Изд. 2., 1960.

112. Научно-реферативный сборник по некоторым вопросам современной физики по материалам иностранной периодической литературы. Серия вторая. Выпуск VIII. Парамагнетизм ядер и бета- распад / Управление научной информации. — М.: ИИЛ, 1950. — С. 5–74.

113. *Провоторов Б. Н.* Квантово-статистическая теория перекрестной релаксации // ЖЭТФ. — 1962. — Т. 42, вып. 3. — С. 882–888.

114. *Силкин И. И.* Евгений Константинович Завойский: Документальная хроника научной и педагогической деятельности в Казанском университете. — Казань.: Изд-во КГУ, 2005. — 240 с.

115. *Скорюпин В. А.* От ядерной физики к физике плазмы (препринт). — М.: РНЦ «Курчатовский институт», 2006.

116. *Френкель Я. И.* К теории релаксационных потерь, связанных с магнитным резонансом в твердых телах // ЖЭТФ. — 1945. — Т. 15. — С. 409–416.

117. *Храмов Ю. А.* Парселл Эдвард Майлз. История физики. — Киев: Феникс, 2006. — 1176 с.

118. *Эрнст Р.*, *Боденхаузен Дж.*, *Вокаун А.* ЯМР в одном и в двух измерениях (пер. с англ.). — М.: Мир, 1990. — 712 с. [*Ernst R. R.*, *Bodenhausen G.*, *Wokaun A.* Principles of nuclear magnetic resonance in one and two dimensions. — Oxford: Clarendon press, 1987.]

119. *Яблоков Ю. В.*, *Фанченко С. Д.* Краткий очерк научной, педагогической и общественной деятельности (Е. К. Завойского) // Евгений Константинович Завойский. Материалы к биографии. — Казань: Унипресс, 1998.

Глава 2

Открытие магнитного резонанса в зеркале Нобелевских премий

Результаты ежегодных конкурсов на Нобелевские премии, которые проходят вот уже скоро 120 лет с небольшими перерывами на мировые войны и великие депрессии, конечно, не являются абсолютным индикатором сравнительных успехов исследователей в различных областях и в естествознании в целом. И все же эти результаты позволяют в каком-то приближении оценить если не объективную относительную ценность результатов разных исследователей, то по крайней мере отношение определенных авторитетных кругов научного сообщества к этим результатам.

Хорошо известно, что Е. К. Завойский не получил Нобелевской премии за открытие электронного парамагнитного резонанса. Подчеркнем, что несправедливость этой ситуации прекрасно осознавалась не только в среде советской и российской науки, но и в мировом научном сообществе. Об этом говорит, например, награждение Завойского премией Международного общества магнитного резонанса (ISMAR) 1977 г. Об этом в явном виде говорил один из западных коллег, классиков магнитного резонанса, Анатоль Абрагам, на одном из международных форумов обратившийся «с тостом к двум “капризным дамам” — шведской и советской академиям наук с призывом исправить историческую ошибку и присудить Е. К. Завойскому Нобелевскую премию за открытие парамагнитного резонанса и принять С. А. Альтшулера в Академию наук» [Альтшулер и Ларионов, 2014].

Причины этой ошибки многократно обсуждались, высказывались предположения самого разнообразного характера: политического, этического и др. Ценнейший материал, касающийся истории открытия и его признания в советской и мировой науке, попыток присуждения Нобелевской премии Е. К. Завойскому и возможных причин их неудачи, собрала Н. Е. Завойская в своей фундаментальной монографии [Завойская, 2007], опираясь, в частности, на архивные данные, найденные А. М. Блохом, выдающимся отечественным исследователем истории присуждений Нобелевских премий [Блох, 2005]. В частности, в ней она сообщила о нескольких попытках номинирования Е. К. Завойского на Нобелевскую премию советскими учеными, известных по материалам отечественных архивов. Однако к моменту выхода книги в свет (2007 г.) прошло еще менее 50 лет с момента, когда признание начало приходить к Е. К. Завойскому в СССР и в мире. Иными словами, к тому моменту еще не истек 50-летний срок секретности материалов Нобелевского комитета, в котором могли бы быть документы,

отражающие номинирование Е. К. Завойского. За истекшее с того времени десятилетие многие документы были открыты [Nomination Archive, 2018]. Здесь мы попытаемся сделать первоначальный обзор открытых Нобелевским комитетом данных, касающихся открытия ЭПР.

Для начала опишем вкратце «Нобелевскую эстафету» Ф. Блоха и Э. Парселла. Их начали номинировать почти сразу после публикации их работ: Ф. Блоха — с 1948 г., а Э. Парселла — с 1949 г. Учитывая, что их статьи вышли в январе 1946 г., а номинации на 1948 г. должны были поступить в Нобелевский комитет не позднее января 1948 г., на осознание значения этих работ у мирового научного сообщества было не более двух лет. Примечательно, что первым номинатором был К. Гортер, а также Г. Вентцель, номинировавшие в 1948 г. Блоха. В 1949 г. Ван Флек номинировал Парселла и Блоха, в 1950 г. то же сделали А. Кастлер и С. Квимби (Shirley Quimby) (кроме того, одного Блоха предложил У. Лэмб). В 1951 г. было также два предложения в пользу Блоха и Парселла и два в пользу одного Блоха, а в «победном» 1952 г. — три за обоих кандидатов и четыре — за Блоха в одиночку. Среди номинировавших были И. Раби, открывший перед войной резонансные переходы в молекулярных пучках, Э. Ферми, К. Сигбан, М. Лауэ и др. Всего за пять лет, предшествовавших награждению (для Парселла — за четыре), было сделано 18 представлений Ф. Блоха и 10 представлений Э. Парселла. Заметим, что других ученых, чьи имена были как-либо связаны с магнитным резонансом, в эти годы почти не номинировали: номинации К. Гортера, а также А. Кастлера начались с 1956 г., Б. Блини — с 1957 г., А. Абрагама и Н. Бломбергена — с 1960 г., и лишь Дж. Ван Флек был номинирован впервые уже в 1951 г., а затем, после перерыва, с 1961 г.

Таким образом, Нобелевская премия была «взята» Парселлом и Блохом с весьма небольшого по нобелевским меркам числа попыток, однако эти попытки были поддержаны самыми именитыми учеными того времени.

«Нобелевская история» Е. К. Завойского, как показывают открытые к настоящему времени Нобелевским комитетом данные, не менее интересна и богата. Так, из них видно, что Е. К. Завойского номинировали на Нобелевскую премию ежегодно с 1958 г. по 1966 г. (данных о более позднем периоде пока нет). Всего за этот период он получил 17 (!) представлений от разных ученых, о которых мы скажем ниже, причем среди них были и два представления к Нобелевской премии по химии (остальные — по физике). Более того, лишь 5 из них принадлежало советским ученым, остальные 12 были сделаны учеными из других стран, в том числе Якобом Гортером (Cornelis Jacobus Gorter, Нидерланды) — 4 раза в разные годы, Леопольдом Ружичкой (Leopold Ruzicka, Швейцария) — 5 раз, Е. Рудбергом (E. Rudberg, Швеция), Дж. Вайссом (J. Weiss, Великобритания) и А. Оландером (A. Ölander, Швеция). Выражаясь политическим языком тех лет, ни один из перечисленных номинаторов не принадлежал к «братским странам» социалистического лагеря, что говорит о том, что эти номинации были лишены ка-

кой-либо политической окраски, и свидетельствует о высоком авторитете Е.К. Завойского в научном мире.

С советской же стороны Е.К. Завойский до 1966 г. был номинирован трижды: в 1959 г. (И.М. Франком), в 1964 г. (А.П. Александровым, Л.А. Арцимовичем, Н.Н. Семеновым и И.Е. Таммом). и в 1966 г. (А.М. Прохоровым и Б.П. Константиновым).

«Первой ласточкой» было представление Гортера, сделанное им в 1958 г. по физике, и в том же году — представление Дж. Вайсса по химии. Интересно, почему именно 1958 г. стал началом внимания к Е.К. Завойскому? Разумеется, это лишь предположение, но можно думать, что толчком к этому послужила Ленинская премия, лауреатом которой Е.К. Завойский стал годом раньше. Вероятно, она впервые сделала имя Е.К. Завойского публичным, по прошествию десяти лет с его последних открытых работ по тематике ЭПР. В главной советской газете «Правда» была опубликована и статья Е.К. Завойского и его портрет (наряду с портретами других лауреатов), что, наконец, должно было показать западному миру, что Е.К. Завойский — это «живой человек» (рис. 19). Как известно, ранее Гортер, будучи в СССР (в 1956 г.), на 3-й Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений в Москве, пытался встретиться с Завойским, но по режимным соображениям это было невозможно [Завойская, 2007, с. 92]. В любом случае определенная связь признания ученого на родине и в мире — несомненна, и приведенный здесь пример Е.К. Завойского наглядно показывает, что признание в своем отечестве необходимо для мирового признания. Это накладывает на соотечественников большую ответственность за последующее признание мировым научным сообществом своих национальных научных достижений и их авторов.

Рассмотрим теперь по отдельности каждый год, начиная с 1958 г., показав, кто представлял Завойского и с кем он конкурировал за высшую научную награду.

В 1958 г., как уже было сказано, в Нобелевский комитет поступили сразу два представления с именем Е.К. Завойского: от Дж. Вайсса по химии и от К.Я. Гортера по физике. Джозеф Джошуа Вайсс (Joseph Joshua Weiss; 1905–1972) был профессором University of Newcastle-on-Tyne и занимался проблемами радиационной химии, в том числе взаимодействием свободных радикалов с биологически важными молекулами [Scholes, 1972; Association…, 2018]. После его смерти в 1972 г. Ассоциация радиационных исследований (the Association for Radiation Research) учредила медаль его имени [Association…, 2018].

Корнелис Якоб Готер (Cornelius Jacobus Gorter; 1907–1980), голландский физик, был первопроходцем в экспериментальных работах по поиску магнитного резонанса и в каком-то смысле конкурентом Завойского. Однако он всегда со вниманием и уважением относился к Завойскому. Узнав о работах Завойского, он поспешил вставить ссылку на них в корректуру своей книги (Gorter, 1947), уже выходившей в свет и вышедшей в 1947 г.



Ленинские премии

О ЛЕНИНЕ



ЛАУРЕАТЫ ЛЕНИНСКИХ ПРЕМИЙ В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

ТОРЖЕСТВО ЛЕНИНСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ

Явление парамагнитного резонанса

ПОЧЕМУ РАЗЛИЧНЫ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЗАВОДОВ

Рис. 19. Газета «Правда» с сообщением о присуждении Ленинской премии за 1957 г. Е. К. Завойскому и другим советским ученым. Источник: личный архив Н.Е. Завойской

Позже, как уже было сказано, он неоднократно представлял Завойского к Нобелевской премии. В 1958 г. он, кроме Завойского, номинировал также французского физика Луи Нееля (Louis Eugène Félix Néel; 1904–2000), который получит премию много позже, в 1970 г., «за фундаментальные труды и открытия, касающиеся антиферромагнетизма и ферромагнетизма, которые повлекли за собой важные приложения в области физики твердого тела» вместе с Ханнессом Альфвеном.

Напомним, что в тот год Нобелевскую премию по физике получили другие советские ученые, П. А. Черенков, И. М. Франк и И. Е. Тамм «за открытие и объяснение эффекта Черенкова». Отметим при этом, что все трое уже выдвигались на Нобелевскую премию по физике в предыдущем, 1957 г., а П. А. Черенков — впервые еще в 1952 г., и затем с 1955 г. ежегодно. Премию по химии в тот год получил Фредерик Сенгер (Frederick Sanger), в будущем — дважды (!) лауреат Нобелевской премии (1980). Отметим также, что среди прочих номинантов по физике и химии в этот год были П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, И. Пригожин, Е. Вигнер, Х. Бете, Я. Оорт, Д. Бом, Л. Онзагер, М. Гепперт-Майер, М. Кальвин, К. Ингольд, Р. Вудвард, В. Прелог и другие (всего — несколько десятков номинантов по каждой из номинаций, многие из которых стали нобелевскими лауреатами в течение следующих десятилетий).

В 1959 г. Завойский получил также две рекомендации: от прошлогоднего лауреата, советского физика Ильи Михайловича Франка (1908–1990) и Леопольда Ружички (Leopold Ružička; 1887–1976), швейцарского химика-органика хорватского происхождения, лауреата Нобелевской премии по химии за 1939 г. Ружичка был активным «номинатором», до 1966 г. он сделал не менее 42 представлений (остальные пока закрыты) по физике и по химии. И, начиная с 1959 г., он упорно представляет Завойского по номинации «физика» (кроме 1960 г., когда им не сделано ни одного представления, и 1961 г., когда он выдвигает Рудольфа Мёссбауэра, получившего премию в том же году). В представлении И. М. Франка, кроме Завойского, указан также советский физик В.И. Векслер, причем как первый претендент (First choice: Vladimir Veksler, second choice: E K Zavoisky). Премию по физике в этом году получают О. Чемберлен и Э. Сегре за открытие антипротона. Среди номинантов, не удостоенных премии в этот год, — Н. Винер, Ч. Таунс, Л. Мейтнер, Ч. Киттель, А. Кастлер, А. Иоффе, Н. Н. Боголюбов, а также многие из номинантов прошлого года (Л. Ландау, Е. Вигнер, Л. Неель и др.).

В 1960 г. Завойский снова представлен К. Гортером, на этот раз — как единственный номинант. Одновременно его представляет по номинации «химия» Густав Оландер (Gustav Arne Ölander; 1902–1984), шведский химик, бывший секретарем, а позже членом Нобелевского комитета по химии. Это было последнее номинирование Завойского по химии до 1966 г. В тот год Нобелевскую премию по химии получил У. Ф. Либби (W. F. Libby) за метод радиоуглеродного анализа. По физике же лауреатом стал Дональд

Глазер (D. Glaser) за изобретение пузырьковой камеры. Отметим, что имена большинства из названных выше претендентов 1958–1959 гг. (П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Е. Вигнер, Х. Бете, Я. Оорт, Л. Онзагер, М. Гепперт-Майер, М. Кальвин, К. Ингольд, Р. Вудвард, Ч. Таунс, А. Кастлер, Н. Н. Боголюбов, Л. Неель, И. Пригожин) повторяются и в номинациях этого года и будут регулярно повторяться и далее, причем часто в разных (и даже одновременно в разных) номинациях. (Из упомянутых нами В. Прелог и Л. Мейтнер в 1960 г. не были номинированы, но снова оказались в списках номинантов в следующие годы. Для Ч. Киттеля номинирование 1959 г. стало последним в период, по которому открыты документы, а для Н. Винера, и А. Иоффе — единственным.) Поэтому далее мы их больше не будем упоминать. В 1960 г. к ним добавились Н.Г. Басов и А. М. Прохоров, А. Абрагам, М. Гелл-Манн, Р. Фейнман, Д. Ходжкин, Дж. Кендрью, М. Перутц в номинации «физика», М. Фольмер, М. Поляни, Ф. Крик и Дж. Уотсон в номинации «химия». Еще раз подчеркнем, что здесь названа лишь малая часть всех номинантов.

В 1961 г. К. Гортер опять номинировал Завойского. Лауреатами в тот год стали, как уже было сказано выше, Рудольф Мёссбауэр, номинированный Л. Ружечкой (за «открытие… эффекта, носящего его имя») и Роберт Хофштадтер (за открытия «в области структуры нуклонов»). Среди номинантов, кроме многих из упоминавшихся выше, были В. Гайтлер, О. Фриш, Дж. Ван-Флек.

В 1962 г. Завойского снова номинируют К. Гортер и Л. Ружичка. Нобелевская премия по физике в тот год была присуждена за теорию конденсированного состояния советскому физику Льву Ландау, в начале года попавшему в автомобильную катастрофу. В списках номинантов, кроме большинства из упоминавшихся, С. Бозе, Н. Бломберген, С. Чандрасекар, Ю. Швингер, Н. В. Белов.

В 1963 г. Завойского снова номинирует Л. Ружичка, а лауреатами становятся Ю. Вигнер, М. Гёпперт-Майер и Х. Йенсен за исследования структуры ядра. Среди новых номинантов — выдвигавшиеся и ранее, но пока не упомянутые нами Дж. Бардин и Л. Купер, А. Оверхаузер, а также впервые номинируемый М. Дельбрюк.

1964 г. становится годом новой волны интереса советского научного сообщества к международному признанию Завойского. В этом году, кроме верного Л. Ружички, его номинируют четверо советских академиков-физиков, в том числе два нобелевских лауреата: Л. А. Арцимович, А. П. Александров, Н. Н. Семёнов и И. Е. Тамм. Последние трое номинируют его совместно с Гортером («The prize to be shared between E. K. Zavojskij and C. J. Gorter»), у Арцимовича и Ружички Завойский фигурирует как единственный номинант.

Однако в том же году директор ФИАН академик Д.В. Скобельцын номинирует Н. Г. Басова, А. М. Прохорова и Ч. Таунса, которые в итоге и получают премию. Очевидно, что представления Скобельцына и четырех

академиков вступали в конкуренцию друг с другом. Это — удивительный пример того, как советская наука, для которой официально всегда декларировалась цельность, общность интересов (по крайней мере и в том числе на международной арене), согласованная позиция и действия «единым фронтом», в действительности жила совсем по иным законам. Представления от четырех академиков готовились без малейшей секретности и были, безусловно, хорошо известны в академическом сообществе и в том числе Д. В. Скобельцыну. Тем не менее, зная о том, что его коллегами будут направлены (или уже направлены) в Нобелевский комитет представления Завойского, он решил не поддержать их, а наоборот, принял решение, отчасти обесценивающее старания коллег. Однако он (и, разумеется, его номинанты) выиграл в этой борьбе и, с точки зрения «командного зачета» (для СССР), его решение не оказалось неоправданным на тот год.

В 1965 г. представление Завойского к награде исходит от одного лишь Л. Ружички. Лауреатами становятся С.-И. Томонага, Ю. Швингер и Р. Фейнман за «фундаментальные работы по квантовой электродинамике».

В 1966 г. к Л. Ружичке снова присоединяется К. Гортер (номинировавший перед этим два года подряд Л. Нееля), а также Е. Рудберг (E. Rudberg). Он номинирует Завойского вместе с Гортером. Однако одновременно он дает еще два представления: одно на А. Кастлера и Жана Бросселя и второе на Нееля и Ван-Флекка. Альфред Кастлер (Alfred Kastler) и станет лауреатом в этом году, остальные (кроме Ж. Бросселя) — позже. Кроме них, Завойского вместе с Б. Блини номинируют А. М. Прохоров и Б. П. Константинов, а одного Завойского — также Р. Ричль (R Ritschl). Как и в прошлые годы, выдвигаются Х. Бете, П. Л. Капица, М. Гелл-Манн, Л. Неель, Л. Онзагер, Н. Н. Боголюбов, В. Гайтлер, Г. Уленбек и С. Гаудсмит, Э. Хюккель.

На этом заканчиваются открытые на данный момент данные. Из них видно, что, во-первых, Е. К. Завойский отнюдь не был забыт в мировой науке, его ежегодно номинировали на Нобелевскую премию по физике или же одновременно еще и по химии. А неприсуждение ему премии в эти годы происходит на фоне чрезвычайно острой конкуренции не только самих ученых, но и их крупнейших достижений. При всей очевидной несправедливости неприсуждения Нобелевской премии Е. К. Завойскому, однако, довольно сложно указать на конкретное «место» этой несправедливости — грубо говоря, кто именно и в каком году незаслуженно занял место Завойского на нобелевском пьедестале? Глядя на приведенные (неполные!) списки, ответить на этот вопрос очень сложно. По-видимому, единственная возможность «втиснуться» в этот бесконечно движущийся переполненный поезд была бы у Завойского в 1952 г., одновременно с Ф. Блохом и Э. Парселлом. Но присуждение это произошло в самый неудачный период, именно тогда, когда советское руководство (а вместе с ним, разумеется, и вся советская наука) выбрала путь полной изоляции от мирового сообщества, прекратив выпуск международных версий своих научных журналов, исключив контакты советских ученых с иностранными коллегами и т. д. и т. п.

Н. Е. Завойская отыскала документы о несостоявшейся посылке советской делегации на конференцию по радиоспектроскопии 18–23 сентября 1950 г. в Амстердаме, которую секретарь ЦК ВКП(б) М.А. Суслов признал «нецелесообразной» (Завойская, 2007). А сколько еще таких решений о «нецелесообразности» остаются неизвестными нам! Сознательные задержки публикаций тоже делали свое дело — можно вспомнить пример ближайших сотрудников Завойского, С. А. Альтшулера и Б.М. Козырева, открывших сверхтонкую структуру спектров (СТС) ЭПР в 1948 г., т. е. на год раньше Р. Пенроуза, но статья которых пролежала в «Докладах АН СССР» два года и приоритет был упущен (Альтшулер и Ларионов, 2014). Наконец, даже если бы Нобелевская премия и была присуждена кому-то из советских ученых в 1952 г., то это могло бы дорого ему стоить — если и не жизни и свободы, то, по крайней мере, карьеры. Суд чести над Н. Г. Клюевой и Г. И. Роскиным, арест В. В. Парина в 1947 г. или же травля Б. Пастернака в гораздо более «вегетарианском» 1958 г. — все это позволяет представить, как могла бы выглядеть судьба нобелевского лауреата в СССР в 1952 г.

По-видимому, для Завойского оставался шанс получить Нобелевскую премию и позже. Списки нобелевских номинантов, лишь кратко упомянутые здесь, показывают, как долго (десятилетиями!), непрерывно, каждый год выдвигались кандидатуры выдающихся ученых, прежде чем они получали (или так и не получали) заслуженную премию. Так, у одного из упоминавшихся конкурентов Завойского, Х. Бете, получению премии предшествовали 48 номинаций в течение 24 (!) лет, у Л. Онзагера — не менее 47 в течение 16 лет, у Л. Нееля — не менее 77 в течение 18 лет. Уважение западных коллег, готовых номинировать ученого, и долгая жизнь последнего сильно повышали его шансы получить награду. Как видно из представленных данных, первым из этих обстоятельств Завойский не был обделен, а вот второго ему не было дано. Заметим, что следующие Нобелевские премии за развитие магнитно-резонансных методов были присуждены гораздо позже (например, Р. Эрнст, 1991, и К. Вютрих, 2002; подробней об этом ниже).

В то же время обращает на себя внимание удивительная пассивность советских ученых. За 9 лет были предприняты всего три попытки номинировать Завойского — в 1959, 1964 и 1966 гг. Причем касается эта пассивность не только Завойского. К сожалению, мы не имеем возможности узнать, кому были разосланы приглашения к номинированию на каждый год. Однако можно точно сказать, что лауреаты Нобелевских премий имели право ежегодно делать свои представления. Как ни удивительно, но свою возможность номинировать своих же советских коллег или же иностранных ученых они практически не использовали. Так, всеми нашими лауреатами к 1966 г. в сумме могло бы быть сделано 42 представления (считая все предложения номинатора за год как одно представление; с учетом же возможности рекомендовать нескольких человек за один год это число еще более (почти неограниченно) увеличивается). Вместе с тем фактически таких представлений,

судя по материалам нобелевского сайта, было лишь 8, т.е. менее 1/5! В то же время нобелевские лауреаты тех же лет из других стран пользуются этой возможностью гораздо более активно. Так, уже упомянутый нами Э. Сегре использовал эту возможность ежегодно. Так же поступает и У.Ф. Либби, и Р. Мёссбауэр. Знаменитые лауреаты более ранних лет также были, как правило, внимательны к работам, заслуживавшим Нобелевских премий. Так, Н. Бор за 40 лет с момента получения им статуса нобелевского лауреата (а следовательно, права номинирования) до своей смерти, если не считать годы Второй мировой войны, «пропустил» всего лишь 12 лет, Л. Де Бройль (лауреат 1929 г.) — 2 года, В. Гейзенберг (1932 г.) — 8 лет (также не считая военного периода), Э. Ферми (1938 г.), за исключением военных лет, не пропускает ни года, Макс Борн (1954 г.) — 3 года. Можно предположить, что в глазах советских ученых Нобелевские премии не были чем-то столь же значимым, как для их западных коллег либо же планка при оценке работ, достойных премирования, была заметно выше.

Интересно посмотреть, кого еще номинировали в разные годы ученые, представлявшие Завойского в рассмотренный здесь период. Из иностранных номинаторов для Е. Рудберга представление Е.К. Завойского в 1966 г. было первым, для Дж. Вайсса в 1958 г. — единственным, А. Оландер после 1960 г. сделал еще два представление: одно — советского кристаллографа и геохимика Н.В. Белова, другое — Р. Норриша и Г. Портера. К.Я. Гортер выступал с представлениями к Нобелевской премии по физике 11 раз с 1948 г., включая упомянутого Л. Нееля, Ф. Блоха и Б.Т. Матиаса. Л. Ружичка сделал всего 42 представления (с 1934 г. по химии, а с 1951 г. и по физике), причем почти всех своих номинантов предлагал неоднократно, многих из них — до тех пор, пока они, наконец, не получали заслуженную, по его мнению, премию (например, Р. Вудвард, Т. Райштейн, Я. Гейровский, Р. Робинсон, В. Стенли и др.).

Что касается советских ученых, то для А.П. Александрова и И.Е. Тамма это было единственное представление до 1966 г.; Арцимович до этого дважды представлял Л.Д. Ландау и П.Л. Капицу; И.М. Франк представлял П.Л. Капицу в 1966 г. Наиболее активен был Н.Н. Семенов, представлявший П.Л. Капицу по физике, а по химии дважды представлявший две группы: А.Н. Фрумкина и М. Фольмера, а также А.П. Виноградова и А. Холмса.

Заканчивая этот краткий анализ, отметим, что он охватывает, возможно, не самый интересный период с точки зрения несостоявшегося премирования за открытие ЭПР. Конец 1950-х — первая половина 1960-х гг. — годы «оттепели», когда интегрированность советской науки в мировую науку была особенно сильна, а советские ученые получали Нобелевские премии буквально одну за другой (1956, 1958, 1962, 1964 гг.). Этот «поток» премий мог восприниматься мировым научным сообществом как и без того достаточная дань престижу советской науки, а кандидатура Завойского часто конкурировала «со своими». Интересно узнать, что изменилось

с конца 1960-х гг.: выдвигалась ли кандидатура Завойского, расширился или сузился круг его номинаторов, кто оказывался среди его конкурентов. Документы, которые будут открыты Нобелевским комитетом в течение ближайшего десятилетия, должны дать ответ на эти вопросы.

В то же время, подводя итог истории всех Нобелевских премий, связанных с магнитным резонансом, нужно отметить, что не только Завойский, но и никто другой не получил премии за ЭПР. Так, Исидор Раби, который тоже открыл ЭПР, только в атомном пучке (об этом упоминал и сам Завойский на защите своей докторской диссертации), получил премию «за резонансный метод измерений магнитных свойств атомных ядер»[1)]. Вообще электронному парамагнетизму с Нобелевскими премиями не повезло. Не получил премию за закон Кюри сам Пьер Кюри (правда, он получил свою премию за радиоактивность), не получили премию за утверждение теории спина электрона Дж. Уленбек и С. Гаудсмит. Лишь Дж. Ван Флек практически на склоне лет разделил Нобелевскую премию 1977 г. «за фундаментальные теоретические исследования электронной структуры». Кстати, согласно мнениям, учтенным в вердиктах Нобелевского комитета (что совпадает и с нашим мнением, высказанным в главе 1), магнитный резонанс невозможно было открыть раз и навсегда, хотя какие-то его открытия в различных средах можно усмотреть. Мы подсчитали, что примерно 60% всех Нобелевских премий по физике присуждались с формулировками, включающими слово «discovery», «discoveries» или «discovering» (открытие или открытия). Как уже было упомянуто, И. Раби получил свою премию всего лишь «за резонансный метод». Блох и Парселл получили свою премию, как известно, «за развитие новых тонких методов измерения магнитных свойств ядер и связанные с этим открытия». Итак, они в основном развили методы (разные), но с помощью этих методов нечто открыли (по мнению Нобелевского комитета). Однако в этой формулировке прямо не сказано, что открыт ядерный магнитный резонанс в веществе, тем более вообще магнитный резонанс в веществе, и приоритет Е. К. Завойского никак не подвергнут сомнению. Добавим, что в 1966 г. Нобелевскую премию получил А. Кастлер за открытие двойного оптического-парамагнитного резонанса, что Нобелевский комитет сформулировал как «За открытие и развитие оптических методов регистрации радиочастотных резонансов в атомах»[2)].

«Запоздалые» Нобелевские премии были вручены за ряд исследований, прямо или косвенно связанных с явлениями или применениями магнитного резонанса. Мы имеем в виду премии, врученные Ван Флеку в 1977 г., Норманну Рэмси в 1989 г. и, возможно, Энтони Леггетту в 2003 г. Дальнейшие награждения премиями Нобеля за магнитный резонанс по-

[1] For his resonance method for recording the magnetic properties of atomic nuclei.

[2] For the discovery and development of optical methods for studying Hertzian resonances in atoms (англ.).

следовали уже в номинации химии (Р. Эрнсту 1991; К. Вютриху в 2002) и медицины (П. Лотербуру и П. Мэнсфилду в 2003). Об этом см. в [Кессених, 2009, с. 760]. Премия Э. Леггетту (о ней в работе [Кессених, 2009] не упоминалось по упущению автора) была присуждена по всей очевидности за исследования сверхтекучести ^{3}He, в том числе и методом ЯМР. (См. ссылки в книге А. Абрагама и М. Гольдмана [1984, т. 1. гл. 4], например, [Leggett, 1973].)

Литература к главе 2

1. Association for Radiation Research — Weiss Medal. URL: https://www.le.ac.uk/cm/arr/weiss.html (Дата обращения: 30.07.2018.)
2. *Gorter C.J.* (1947) Paramagnetic relaxation. — Elsevier, Amsterdam.
3. *Leggett A.J.* Microscopic Theory of NMR in an Anisotropic Superfluid (3He*A*) // Phys. Rev. Lett. — 1973. — Vol. 31, Iss. 6. — P. 352–355.
4. Nomination Archive. URL: https://www.nobelprize.org/nomination/redirector/?redir=archive/ (Дата обращения: 30.07.2018.)
5. *Scholes G.* Obituary: Professor J.J. Weiss, 1905–1972 // Int. J. Radiat. Biol. — 1972. — Vol. 22, No 4. — P. 311–312. URL: https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09553007214551161 (Дата обращения: 30.07.2018.)
6. *Абрагам А. и Гольдман М.* Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок (пер. с англ.). — М.: Мир. Т. 1, 1984. — 300 с.; Т. 2. 1984. — 360 с. [*Abragam A.*, *Goldman M.* Nuclear magnetism: order and disorder. — Oxford: Clarendon press. 1982.]
7. *Альшулер Н.С.*, *Ларионов А.Л.* Страницы научной и личной биографии С.А. Альтшулера // В сб.: В.П. Визгин, А.В. Кессених, К.А. Томилин (ред.). К исследованию феномена советской физики 1950-1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты. — СПб.: РХГА, 2014. — С. 263–314.
8. *Блох А.М.* Советский Союз в интерьере нобелевских премий: факты. Документы. Размышления. Комментарии. Изд. 2-е. — М: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 878 с.
9. *Завойская Н.Е.* История одного открытия. — М.: ООО «Группа ИТД», 2007. — 208 с.
10. *Кессених А.В.* Открытие, исследования и применения магнитного резонанса // УФН. — 2009. — Т. 179, вып. 7. — С. 737–764. [*Kessenikh A.V.* Magnetic resonance: discovery, investigations, and applications // Physics-Uspekhi. — 2009. — Vol. 52, No 7. — P. 695–722.]

Глава 3

Первые советские десятилетия после открытия магнитных резонансов в веществе

Открытие и «обнародование»

Независимо от величия сделанного открытия, настоящим его «рождением» для науки считается публикация. Открытию ЭПР повезло: сообщение о нем было опубликовано достаточно быстро, причем не только на русском языке [Завойский, 1945], но и на становившимся к тому моменту уже международном языком науки английском [Zavoisky, 1945]. Везение заключалось еще и в том, что открытие Завойского проскочило в узкую щелку еще не опустившегося «железного занавеса»: буквально через два года англоязычный советский журнал «Journal of Physics, USSR», в котором Завойский опубликовал свою первую статью (а потом и несколько следующих), был закрыт и публикации советских ученых в журналах, доступных их коллегам за границей, были прекращены.

Несомненно, это была достаточно эффективная публикация с точки зрения оповещения международного сообщества. Мы уже затрагивали вопрос о том, в какой мере статья Завойского об открытии ЭПР могла (или не могла) повлиять на открытие ЯМР Парселлом и Блохом. И хотя, вероятно, непосредственного значительного влияния на эти работы она оказать не успела, тем не менее она была доведена до сведения международного научного сообщества к моменту проведения этих работ. Об этом наглядно свидетельствует почти анекдотический факт, обнаруженный Н. Е. Завойской [2007, 2016], что в номере 69 Physical Review за 1946 г., на той же странице, где Блох сообщает об открытии ЯМР [Bloch et al., 1946a], приведена ссылка на одну из статей из того же самого номера «Journal of Physics, USSR», в котором опубликована статья Завойского об открытии ЭПР! Таким образом, и этот советский англоязычный журнал, и статьи, опубликованные в нем, были доступны, известны мировому научному сообществу и внимательно прочитывались.

Но знакомство научного сообщества с открытием состоялось не только через печать. К июню 1944 г. Завойский оформил свои результаты в виде докторской диссертации и подал ее в Физический институт им. П. Н. Лебедева (ФИАН) в Москве [Силкин, 2007, с. 139]. 30 декабря 1944 года он выступал с докладом о своей работе на семинаре в Институте физических проблем им. П. Л. Капицы (ИФП), знаменитом «капичнике», причем

на нем присутствовали многие известные советские физики, химики, физикохимики, биофизики и геофизики из лучших научных институтов СССР: академик А. Ф. Иоффе, «папа советской физики» и директор Ленинградского физико-технического интститута (ЛФТИ); академик Н. Н. Семенов, директор одного из крупнейших к тому времени Института химической физики (ИХФ) АН СССР, а также ряд других сотрудников ИХФ: Я. Б. Зельдович, И. Л. Зельманов, Ю. Н. Рябинин; известный радиофизик Г. С. Горелик, работавший в тот момент в «гнезде» теории колебаний в Горьковском государственном университете у А. А. Андронова; один из инициаторов советского Атомного проекта Г. Н. Флёров (лаборатория № 2); Э. В. Шпольский (Московский государственный педагогический институт), наиболее известный как главный редактор в течение почти полувека журнала «Успехи физических наук»; К. В. Владимирский из ФИАН СССР, который через год станет автором первой в СССР публикации по ЯМР; физик, физхимик и биофизик С. Е. Бреслер; многие из знаменитых уже к тому времени сотрудников ИФП: Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц, А. Б. Мигдал, Я. А. Смородинский, Э. Л. Андроникашвили и, разумеется, помогавший Завойскому в его московских экспериментах А. И. Шальников и сам «хозяин» семинара академик П. Л. Капица. Кроме названных, на семинаре были представлены Институт геологических наук (впоследствии — ГИН) АН СССР), Лаборатория геохимических проблем (впоследствии ГЕОХИ им. В. И. Вернадского) АН СССР, НИИ физики МГУ и др. [Список…, 1944]. Как видим, советское научное сообщество было представлено на этом семинаре достаточно широко, причем даже вполне мультидисциплинарно. Месяц спустя, 30 января 1945 года, Завойский защитил докторскую диссертацию на ученом совете Физического института, в присутствии «цвета» советских физиков: С. И. Вавилова (председателя Совета), Г. С. Ландсберга, С. М. Рытова, В. И. Векслера, В. Л. Лёвшина, Е. И. Кондорского и все того же А. И. Шальникова, бывших его оппонентами [Стенограмма…, 1945]. И в обоих случаях это далеко не полные списки. Таким образом, весьма представительный круг советского научного сообщества (причем не только «чистых» физиков, но и представителей смежных дисциплин) имел возможность получить информацию об открытии ЭПР из первых рук.

Однако по непонятным причинам это открытие выпало из сферы внимания и интересов советских ученых. Наш анализ литературы показывает, что о работе Завойского почти не упоминалось в советских научных журналах того времени. На научных конференциях и съездах, проходивших в те годы в СССР, работы Завойского и его коллег по ЭПР, по-видимому, также почти не обсуждались. Наиболее крупные и близкие по тематике конференции состоялись в декабре 1946 года, т. е. через два года после первого публичного выступления Завойского и через полтора года после опубликования его работы про ЭПР в печати: Совещание по вопросам электрических колебаний и волн в г. Горьком (9–12 декабря), созванное Всесоюзным научным советом по радиофизике и радиотехнике при Отделении

физико-математических наук (ОФМН) АН СССР совместно с Горьковским государственным университетом (ИзвАН 1947а); 5-я Всесоюзная конференция по спектроскопии в г. Ленинграде (10–16 декабря), созванная Комиссией по спектроскопии при ОФМН АН СССР (ИзвАН 1947б); Первая Всесоюзная конференция по физике магнитных явлений в г. Свердловске (11–16 декабря), организованная ОФМН и Уральским филиалом АН СССР (ИзвАН 1947в). Последняя из них была наиболее близка к проблемам магнитного резонанса, среди заявленных направлений были и такие, как «Атомные магнитные моменты в твердых и жидких телах» и «Ядерный магнетизм». Как отмечалось в отчете: «На конференцию, кроме физиков Свердловска, прибыли физики-магнитологи Москвы, Ленинграда, Харькова, Казани, Горького, Челябинска, Молотова, Красноярска. Было проведено 9 пленарных заседаний, на которых было заслушано свыше 40 докладов» (Вонсовский, 1947). Среди выступавших были известные ученые В. К. Аркадьев, Я. И. Френкель, Я. Г. Дорфман, Е. И. Кондорский, Л. В. Киренский, С. В. Вонсовский. По данным Н. Е. Завойской, присутствовал там и коллега Е. К. Завойского, Б.М. Козырев [Завойская, 2007]. Был на нее приглашен и Завойский [Силкин, 2007], однако без доклада.

Однако фактически единственный доклад, как-то затрагивающий проблемы магнитного резонанса, был сделан Я. Г. Дорфманом («Атомные магнитные моменты в конденсированных фазах» [Дорфман, 1947]. Он же единственный упомянул (хотя бы упомянул!) про работы Завойского, причем с формулировкой, что методы магнитного резонанса «эквивалентны магнетомеханическим методам» и «вряд ли особенно пригодны для определения атомных магнитных моментов в конденсированных системах». Больше ни одного упоминания об открытии ЭПР на конференции, судя по ее опубликованным материалам (ИзвАН 1947в), не было. Как пишет Н. Е. Завойская: «Любопытным фактом является то, что никто из участников конференции и словом не обмолвился о многообещающем значении пионерских работ Завойского. Ни Я. И. Френкелю, ни В. К. Аркадьеву, ни Я. Г. Дорфману, из которых первые двое были лично знакомы с Е. К. Завойским и его работами, его открытие не показалось чем-то выдающимся, т. е. не воспринимались как перспективное» [Завойская, 2007]. Не воспринималось оно как нечто перспективное и позже. Так, еще год спустя, 28 сентября 1947 г. «отец» советской физики А.Ф. Иоффе сделал юбилейный доклад «Советская физика за 30 лет» (в честь 30-летия Советов). В нем упоминается много работ и новых направлений, сделанных и созданных советскими физиками с 1917 года, но никакого упоминания об открытии ЭПР там нет [Иоффе, 1947]. В том же 1947 г. И. К. Кикоин в рецензии на работы Завойского, представленные на соискание Сталинской премии по физико-математическим наукам, указывая на возможные применения ЭПР в будущем, выражал сомнения в существовании самого явления: «Если эта гипотеза окажется верной, то физики получат мощный и простой метод для определения магнитных моментов атомов…» [Завойская, 2007].

Все это выглядит особенно странным на фоне обилия работ по магнитному резонансу на Западе (которые не могли быть совершенно неизвестны советским физикам) и бурного развития этой новой области как в Европе, так и в США. Заметим, что уже в том же 1947 г. (во всяком случае, не позднее января 1948 г.) К. Гортер и Г. Вентцель выдвигают Ф. Блоха на Нобелевскую премию по физике. Число работ по магнитному резонансу растет лавинообразно. Сотни статей по магнитному резонансу (включая ЭПР, ЯМР, ЯКР, ферромагнитный резонанс) были опубликованы в течение нескольких лет после сообщений Перселла и Блоха. Новые явления и техника в этой области становились предметом обсуждения на многих конференциях. В 1948–1949 гг. практически ни одно заседание Американского физического общества (АФО) не проходит без докладов, посвященных проблемам магнитного резонанса. Так, в 1949 г. было сделано не менее 25 докладов по этой новой тематике (выборочный список работ приведен в Приложении 1). В 1948 г. АФО проводит в Вашингтоне симпозиум по радио- и микроволновой спектроскопии. В 1948 г. проходит конференция по радиоспектроскопии в Оксфорде (Великобритания), в 1950 г. — в Амстердаме. Они собирают исследователей со всего мира: из США, Японии, Великобритании, Нидерландов, Франции, Швеции, Швейцарии, Германии [Завойская, 2007, с. 98–101]. На оксфордской конференции 1948 г. К. Гортер говорит о приоритете работ Е. К. Завойского. Вообще, как ни парадоксально, западные ученые обращают внимание на работы Завойского и начинают упоминать его раньше, чем коллеги в СССР. Так, первая ссылка на открытие Завойского [1945] появляется в работе Cummerow and Halliday [1946], затем — в книге Гортера [Gorter, 1947]. В СССР, кроме упоминания Я. Г. Дорфманом в докладе на конференции в Свердловске (о чем шла речь выше), работа Завойского впервые цитируется в УФН В. Л. Гинзбургом [1947], вместе с работами Парселла [Purcell et al., 1946] и Блоха [Bloch et al., 1946b].

Фактически ЭПР в течение почти десятилетия оставался сферой интересов только казанской школы и своему развитию в СССР в эти годы целиком обязан коллегам и друзьям Завойского С. А. Альтшулеру (1911–1983) и Б. М. Козыреву (1905–1979). В течение десятилетия с 1947 года (т. е. после отъезда Завойского из Казани) они опубликовали более 70 работ по многим аспектам магнитного резонанса (т. е. основная часть всех публикаций в СССР по этой тематике за данный период). Эти работы были подробно описаны и полно представлены Аминовым [1998], Яблоковым [1998], Альтшулером и Ларионовым [2014], а также в сборнике «Парамагнитный резонанс» [1971].

Другие исследовательские группы в СССР в этой новой области науки стали появляться значительно позже. Из них в первую очередь надо отметить группу А. М. Прохорова, будущего лауреата Нобелевской премии, которая начала свои работы в области ЭПР в Физическом институте им. П. Н. Лебедева (ФИАН) в 1953 г., а первые публикации относятся к 1955 г. [Маненков

и Прохоров, 1955; Жаботинский, 1955]. Заметим, впрочем, что, несмотря на очевидную самостоятельность научных замыслов А. М. Прохорова, его работы, тем не менее, также имеют генетическую связь и с казанской школой: все «ЭПРное» направление работ А. М. Прохорова началось с приездом в ФИАН А. А. Маненкова (и в дальнейшем было целиком связано с ним), бывшего аспиранта Б. М. Козырева. Нельзя не признать, что работы Маненкова и Прохорова находились под влиянием работ школы Блини, первой сосредоточившей внимание на допированных ионами переходных элементов монокристаллах окислов и солей диамагнитных элементов.

По-видимому, в СССР единственными физиками, которые сразу оценили открытие Завойского и его казанских коллег, были П. Л. Капица и А. И. Шальников. Е. К. Завойский неоднократно получал от них помощь и поддержку как материальную (возможность работать в лабораториях ИФП с использованием технических возможностей, намного превосходивших таковые в Казанском университете), так и организационную. Упоминавшееся выше представление Е. К. Завойского на Сталинскую премию исходило от ИФП. Работы по ЭПР были включены П.Л. Капицей в план ИФП на 1946 г. [План…, 1945]. Сложно сказать, какая судьба ждала бы ЭПР в СССР, если бы в 1946 г. Капица не попал в опалу, снят со всех постов и даже практически отстранен от науки. Таким образом, эта линия развития ЭПР-спектроскопии в СССР прервалась.

Кроме П. Л. Капицы и А. И. Шальникова, известно об активном интересе к ЭПР среди советских ученых только у физхимика Я. К. Сыркина. Яков Кивович Сыркин (1894–1974) (рис. 20), специалист по теоретической химии, в том числе по квантовым методам в химии, химическим связям и молекулярным взаимодействиям, попытался организовать в 1948 г. ЭПР-спектроскопические исследования [Блюменфельд, 1992] в Научно-исследовательском физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова (НИФХИ), где он заведовал лабораторией строения молекул.

В центре его внимания начиная еще с 1920-х гг. было также развитие физических методов и их применение в химии (например, [Сыркин, 1939]), включая рентгеноструктурный анализ, инфракрасную спектроскопию колебательных спектров молекул, оптические и электрические методы (эффект Керра, деполяризация, анизотропная поляризуемость). По-видимому, одним из первых в СССР он обратил внимание на комбинационное рассеяние света и стал применять его в своих химических исследованиях (например, [Wolkenstein and Syrkin, 1937]). В 1930-х гг. он организовал в НИФХИ (впервые в СССР) работы по экспериментальному исследованию строения химических веществ с помощью метода дипольных моментов (например, [Wassiliew et al., 1935]). Наконец, в середине 1940-х гг. он уделял большое внимание радикалам в химии (например, [Сыркин и Дяткина, 1947]), также будучи редактором русского издания книги У. Уотерса «Химия свободных радикалов» [Уотерс, 1946]. По-видимому, весь этот уникальный научный опыт дал ему возможность с ходу оценить возможности метода ЭПР



Рис. 20. Я. К. Сыркин. Источник: личный архив С. П. Долина

в химических исследованиях. Задача ознакомления с новым методом была поручена Сыркиным своему аспиранту Л. А. Блюменфельду [Блюменфельд, 1992]. Однако начавшиеся в этот момент идеологические процессы в науке (борьба с «идеализмом в химии») и в политике («дело врачей») лишили обоих ученых возможности продолжения своей научной деятельности на несколько следующих лет.

Тем не менее Блюменфельд, временно возобновив научные исследования благодаря возможности устроиться на работу в Центральном институте усовершенствования врачей, изучая оксигенацию гемоглобина, вернулся к идее о применении ЭПР. Изменение магнитных свойств белка при оксигенации, как стало очевидно Блюменфельду после длительных попыток применения других методов (главным образом метода магнитных весов), создавало идеальное поле для применения ЭПР-спектроскопии. Перед аналогичными проблемами, хотя и в совсем другой области — химии цепных свободно-радикальных реакций, в те же самые годы стоял другой молодой исследователь, друг Блюменфельда В. В. Воеводский (рис. 21). По-видимому, интенсивное научное взаимодействие двух увлеченных ученых, связанных дружескими узами, обусловило быстрое проникновение «вируса ЭПР» в область химической кинетики, развитие ЭПР-спектроскопических исследований как в химии, так и в биологии и в конечном счете появление двух новых научных школ и, шире, новых



Рис. 21. Слева направо: В. В. Воеводский, Л. А. Блюменфельд. Новосибирский Академгородок, 1961. Источник: личный архив М. В. Воеводской

направлений в советской науке: химической и биологической радиоспектроскопии.

Первые опубликованные работы Л. А. Блюменфельда и его школы [Блюменфельд, 1957; Блюменфельд и Калмансон, 1957] были связаны с гипотезой Сен-Дьерди (1941) о полупроводниковых свойствах белков, вызвавшей серьезную критику со стороны советских ученых (например, [Теренин и Красновский, 1949]). В этих работах предметом изучения стали биологические ткани, белки или изолированные биохимические вещества, подвергнутые воздействию ионизирующего излучения. Работы школы В. В. Воеводского начались в Институте химической физики (ИХФ) также с исследования свободных радикалов, образующихся в процессе облучения ионизирующим излучением [Молин и др., 1958; Черняк и др., 1958], а также изучения металлорганических соединений [Цветков и др., 1957] и цепных химических реакций в газовой фазе [Панфилов и др., 1960].

С этого момента, с 1957 г., начинается лавинообразный рост числа публикаций по разнообразным приложениям ЭПР-спектроскопии. Лишь только В.В. Воеводским и его непосредственными сотрудниками опубликовано с 1958 по 1960 г. более 30 статей, посвященных задачам химической ЭПР-спектроскопии. В то же время ЭПР начинает «растекаться», и все более интенсивно, по другим научным группам и институтам.

ЯМР

Работы по ЯМР начались раньше. Начали работы по ЯМР: экспериментальные — К. В. Владимирский [1947] в ФИАНе в Москве и теоретические — Г. Р. Хуцишвили [1950] в Институте физики в Тбилиси (напомним, что Хуцишвили стажировался у Ландау, Владимирский учился у него в докторантуре, а Ландау, работавший у П. Л. Капицы в ИФП, был среди первых ученых в нашей стране, узнавших об открытии ЭПР). В самом конце 1940-х начинаются экспериментальные работы по ЯМР и в МГУ, в группах С. Д. Гвоздовера (Гвоздовер и Магазаник, 1950) и Е.И. Кондорского (1953). В Атомном проекте СССР сигналы ЯМР в веществе первым получил Г. А. Гончаров в будущем ИТЭФ (тогдашнем ТТЛ) в 1951 г., но в дальнейшем аналогичные работы проводились, наряду с ЯМР, в молекулярных пучках в Сухумском физико-техническом институте (СФТИ). Там в июле 1952-го состоялось первое в СССР совещание по радиоспектроскопии, где были доложены в том числе и работы по ЯМР из СФТИ (Н. И. Леонтьев) и ФИАНа (К. В. Владимирский) [Кессених и Марколия, 2018]. Некоторые исследования по ЯМР в СФТИ курировал немецкий ученый В. Гартман. Впрочем, как увидим ниже, все названные работы по ЯМР отличались невысоким техническим уровнем.

Развитие в СССР метода ЯМР было задержано на десятилетия, хотя попытки осваивать этот метод подготавливали в известном смысле почву для этого развития. Эксперименты по ЯМР на homemade-установках (проще — на самодельном оборудовании) продолжались в лаборатории С. Д. Гвоздовера на физфаке МГУ (Н. М. Иевская, Н. М. Померанцев, позже Ю. С. Константинов), где ежегодно в 1951–1959 гг., да и позже в течение многих лет, выпускались на кафедре радиотехники 1–2 дипломника по специализации ЯМР. Работы до 1957 г. велись на примитивном уровне с использованием электромагнитов с весьма неоднородным полем и в основном генераторов слабых колебаний, типа генераторов Гопкинса или Паунда. Решались чисто демонстрационные задачи: сравнение формы линии с теоретическими предсказаниями, измерение времен релаксации по декременту затухания сигнала, измерение магнитного поля, стабилизация магнитного поля. В 1953–1961 гг. на физическом факультете в лаборатории Е. И. Кондорского были предприняты попытки изучить намагниченность электронов проводимости с помощью эффекта Оверхаузера, что, впрочем, не привело к какому-либо результату в силу прояснившихся позже физических закономерностей (механизмов релаксации ядерных и электронных спинов в металлах, более тяжелых, чем литий, в котором этот эффект был обнаружен впервые). Нет нужды подчеркивать, что по сути эти работы были реминесценцией статей, опубликованных за рубежом (в основном в США).

Более серьезные попытки освоить метод ЯМР высокого разрешения (разумеется, также с использованием зарубежного опыта) были предприняты уже в конце 1950-х–начале 1960-х гг. На физфаке МГУ эти попытки

реализовали Ю. С. Константинов и Н. М. Иевская. В ФИАНе создал спектрометр с относительно высоким разрешением тот же К. В. Владимирский. Несколько позже в ИХФ Л. Л. Декабрун совместно с В. Ф. Быстровым и А. У. Степанянц и в Казани (КГУ) Ю. Ю. Самитов при участии А. В. Аганова и других создали спектрометры на базе постоянных магнитов. Последние две модели претендовали на выход в промышленное производство, что, впрочем, ограничилось лишь выпуском к 1963 г. в КБ одного–двух образцов. Эти все модели имели разрешение порядка 10^{-7} при необходимом для протонного магнитного резонанса (ПМР) разрешении 10^{-8}–10^{-9}. Все они подходили по разрешению и чувствительности для ЯМР высокого разрешения фтора ^{19}F (Константинов, МГУ, совместно с химиками ИНЭОСа) и фосфора ^{31}P (Самитов, КГУ, совместно с лабораторией Б. А. Арбузова). Тем не менее, отдельные исследования ПМР органических кислот и альдегидов, а также ароматических соединений с алифатическими заместителями (разность химических сдвигов разных протонов более 10^{-6}) были на этой аппаратуре возможны и проводились Быстровым и другими в лаборатории Л. Л. Декабруна в ИХФ. В Ленинграде в лаборатории Ф. И. Скрипова начали с освоения ЯМР широких линий (разрешение 10^{-5}). Там же и в Свердловске были в эти годы начаты работы по ЯМР в магнитном поле Земли. В Красноярске в лаборатории А. Г. Лундина также начинали с ЯМР низкого разрешения. Впрочем, и А. В. Аганов вспоминает, что одним из первых заданий Самитова для будущего специалиста по ЯМР было получить «дублет Пейка», расщепление линии гидратационной воды H_2O в кристаллогидрате, что требовало разрешения всего лишь 10^{-5}. Ориентиры ставили зарубежные работы!

И в Казани, и в Ленинграде вслед за освоением ЯМР широких линий последовало освоение ЯМР высокого разрешения фтора (первая диссертация на эту тему была защищена в ЛГУ П. М. Бородиным в 1955 г.).

Лишь в самом конце 1950-х в СССР возникли три группы, серьезно претендовавшие на создание современного (по тогдашним меркам) уровня прибора для химической радиоспектроскопии ЯМР высокого разрешения, о чем речь пойдет ниже.

Ферромагнитный резонанс (ФМР), акустический парамагнитный резонанс (АПР) и акустический ЯМР

Работы по ФМР вел С. В. Вонсовский [Туров и Вонсовский, 1953] в Уральском государственном университете в Свердловске. В начале 1950-х в СССР довольно широкое применение получили ферриты и их исследования иногда, в том числе и резонансными методами, велись на Урале под руководством С. В. Вонсовского, а в Москве (МГУ) — Е.И. Кондорского. Под редакцией Вонсовского в 1952 г. вышел превосходный сборник переводных статей по ферромагнитному, ферримагнитному и антиферромагнитному резонансам, который цитируется нами в главе 4. Работы по аку-

стическим резонансам, теоретически предсказанным С.А. Альтшулером в 1952 г., получили экспериментальное продолжение с начала 1960-х гг. в Казани, Харькове (АПР) и Ленинграде (акустический ЯМР). Неоторые из этих работ будут приведены ниже в «географическом» очерке.

Вспоминая, впрочем, образное сопоставление А. Кастлера [1971] ЭПР с рекой Волга, которая начинается с небольшого источника, а затем превращается в громадный поток, нужно признать, что ЭПР, да и магнитный резонанс в целом, оставались в СССР в эти годы слабым ручейком. Как было сказано выше, лавинообразный рост числа публикаций по разнообразным приложениям ЭПР (а также и ЯМР)-спектроскопии начался приблизительно с конца 1950-х гг. одновременно со стремительным возникновением и интенсивным развитием новых научных групп, институтов, центров. Не претендуя на то, чтобы охватить все направления развития ЭПР- и ЯМР-спектроскопии и все научные школы, в рамках которых оно происходило, постараемся, однако, перечислить хотя бы некоторые из них. При этом мы преимущественно ограничимся временными рамками до 1969 года — юбилейного для открытия магнитного резонанса. Начнем с места рождения ЭПР, ставшего одним из вашнейших научных центров ЭПР-спектроскопии — г. Казани.

Основные центры развития исследований по магнитно-резонансной спектроскопии в СССР

1. Основные направления магнитно-резонансной спектроскопии в Казани в 1950–1960-х гг.

В Казани исследования в области магнитно-резонансных явления первоначально были связаны с двумя научными учреждениями: Казанским государственным университетом (КГУ) и Физико-техническим институтом Казанского филиала (КФ) АН СССР, с которыми были связаны ближайшие сотрудники и соратники Завойского, С.А. Альтшулер и Б.М. Козырев. Впоследствии созданные ими научные школы расширились, переплетались с другими научными школами, в исследования оказались вовлечены и многие другие научные институты и вузы Казани: Казанский авиационный институт (КАИ), казанский филиал Московского энергетического института (КФ МЭИ), Институт органической и физической химии КФАН СССР, Научно-исследовательский химический институт им А.М. Бутлерова и др.

Расширялась и тематика исследований, особенно в связи с новыми открытиями. Так, в 1952 г. С.А. Альтшулером был предсказано резонансное поглощение звука парамагнетиками, так называемый акустический парамагнитный резонанс (АПР) [Альтшулер, 1952]. Это явление стало предметом многолетних как теоретических [Альтшулер, 1955; Колоскова и Копвиллем, 1960], так и экспериментальных [Голенищев-Кутузов и др., 1963, 1968] исследований в Казани. Роль спин-фононных взаимодействий

в других явлениях, например, в антиферромагнетизме, была также показана учениками С. А. Альтшулера [Кочелаев, 1963].

Учениками С. А. Альтшулера Б. И. Кочелаевым и Л. К. Аминовым также были получены новые важные результаты в «классической» области — теории магнитной релаксации, спин-решеточных и спин-спиновых взаимодействий [Кочелаев, 1959; Аминов, 1962; Аминов и Кочелаев, 1962]. Исследованые Л. К. Аминовым двухступенчатые релаксационные процессы и предложенный им новый механизм парамагнитной релаксации известны в литературе как процессы (механизм) Орбаха–Аминова.

ЭПР-исследования многочисленных комплексных соединений ионов переходных групп в изотропных растворителях [Гарифьянов и др., 1967] послужили началом исследования комплексов в анизотропных жидкокристаллических растворителях [Козырев и Овчинников, 1978], а в дальнейшем привели к созданию нового самостоятельного направления — магнитных жидких кристалов на основе координационных соединений [Овчинников и др., 1984, 1990; Овчинников и Галяметдинов, 2001]. Велись исследования обменных взаимодействий в спиновых кластерах [Яблоков и Аблов, 1962; Рыжманов и др., 1965; Яблоков и др., 1988].

Отдельно необходимо сказать об исследованиях ЭПР в металлах и сверхпроводниках. Начало изучению металлов с помощью магнитного резонанса было положено в 1950-х–1960-х гг. в работах основоположников казанской школы ЭПР и их непосредственных учеников. В одной из первых работ в этой области [Гарифьянов, 1957] сообщалось о наблюдении ЭПР в щелочных металлах Li и Na и о зависимости формы резонансного сигнала от размера металлических частиц. Как и все исследователи ЭПР того времени, Н. С. Гарифьянов проводил измерения на спектрометре, сделанном своими руками. Обнаруженная асимметрия резонансных линий качественно согласовалась с теоретическим описанием Дайсона [Dyson, 1955]. Позднее, после образования в 1974 году лаборатории физики металлов (зав. Э. Г. Харахашьян) в составе КФТИ, проблему формы линии парамагнитного резонанса на электронах проводимости (ПРЭП) подробно исследовали И. Г. Замалеев — на тонких пленках [Замалеев и др., 1972], и Ю. И. Таланов — на сферических частицах [Berim et al., 1977].

Кроме изучения формы линии ПРЭП, решалась такая важная проблема, как спиновая релаксация электронов проводимости (ЭП), ее механизмы и разные каналы: релаксация на примесях (за счет спин-орбитального взаимодействия) [Гарифьянов и Стариков, 1958]; релаксация на поверхности металла [Замалеев и Харахашьян, 1978]; релаксация в чистом литии (за счет спин-токового механизма) [Cherkasov et al., 1977]. Отметим, что последнее исследование было выполненно с помощью релаксометра ЭПР, а в образцах (монокристаллы LiF) наблюдалась рекордно узкая линия ЭПР, 0,04 Э (!) при комнатной температуре и спиновое эхо электронов проводимости [Харахашьян и др., 1972]. Особый случай представляла релаксация в металлических наночастицах, в которых было осуществлено с помощью

электронного спинового эха прямое наблюдение замораживания спин-решеточной релаксации ЭП вследствие размерного квантования энергетического спектра (в частицах щелочных металлов, серебра и магния) [Таланов и др., 1986; Жихарев и др., 1987]. Заметим, что воспроизвести этот эксперимент на Западе смогли лишь много позже [Mitrikas, 1999].

Для наблюдения ЭПР в сверхпроводниках необходимо было решить проблему несовместимости сверхпроводимости и магнетизма. Магнитное поле, необходимое для наблюдения ЭПР, полностью разрушает сверхпроводящее состояние в сверхпроводниках 1-го рода, а сверхпроводники 2-го рода переводит в смешанное (вихревое) состояние (если $H_{c1} < H < H_{c2}$). Требовалось найти сверхпроводящие материалы с достаточно большим критическим полем H_{c2} (больше резонансного поля) и большой глубиной проникновения магнитного поля λ. Такие материалы были найдены ($La_{3-x}Gd_xIn$ и $La_{1-x}Er_x$), что позволило впервые в мире наблюдать ЭПР в сверхпроводниках в ФТИ КФ АН СССР [Альтшулер и др., 1972; Алексеевский и др., 1973]. Вслед за этим появилась статья Орбаха [Rettori et al., 1973], который параллельно занимался этой проблемой в США. (Говоря о приоритете, необходимо отметить, что в США публиковали работы гораздо быстрее, чем в СССР.)

После открытия высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в 1987 г. с помощью ЭПР исследовали электронное фазовое расслоение (ЭФР) [Алексеевский и др., 1988], а также вызываемое им распределение локальных магнитных полей [Talanov et al., 2015]; характеристики энергетического спектра ВТСП; вихревую решетку; спиновые волны в сверхпроводниках [Гарифуллин и др., 1993] и др. Для некоторых из этих задач потребовалось разработать технику подвижного ЭПР зонда (микрозонд размером ~0,1 мм) [Khasanov et al., 1995].

После первой работы Б. М. Козырева и С. Г. Салихова [Козырев и Салихов, 1947], которую можно считать первой работой в СССР по химической ЭПР-спектроскопии, это направление стало развиваться лишь с конца 1950-х гг. Начиная с работы [Гарифьянов и Козырев, 1958] в основном это направление нашло отражение в 1960-х гг. в работах Н. С. Гарифьянова, Ю. В. Яблокова и др. [Икрина и др., 1962; Козырев и др., 1963]. Были получены данные по внутри- и межмолекулярным взаимодействиям, временам релаксации. Химическую сторону этих работ (синтез гидразинов), совместных с А. Е. Арбузовым, обеспечивала Ф. Г. Валитова. С 1958 г. к этим исследованиям присоединился А. В. Ильясов, чуть позже — электрохимик Г. С. Воздвиженский, Н. В. Гудин, М. С. Шапник. В результате предметом исследований методом ЭПР стали электродные процессы [Воздвиженский и др., 1964, 1965]. С конца 1960-х гг. началось развитие А. В. Ильясовым, Ю. М. Каргиным и Я. А. Левиным метода электрохимической генерации свободных радикалов [Ильясов и др., 1968].

Также в Казани еще с 1950-х гг. велись работы по химической ЯМР-спектроскопии (Ю.Ю. Самитов в КГУ и позже в Институте органической и физической химии КФАН СССР), о чем было упомянуто выше.

Завершая обзор работ по магнитной радиоспектроскопии в Казани, отметим, что, кроме широкого фронта собственных работ, в Казани также регулярно (каждые два года, начиная с 1955 г.) проводились Всесоюзные конференции по магнитному резонансу, тематика и география участников которых расширялись со временем.

2. Некоторые направления ЭПР и ЯМР-спектроскопии в Москве в 1950–1970-х гг.

Как уже было сказано, одной из первых научных групп вне Казани, в которой оказался востребованным ЭПР, была группа А. М. Прохорова в Москве. После их первой работы в 1955 г. [Маненков и Прохоров, 1955] начались исследования «широким фронтом» (как бы сейчас сказали — «сканирование») разных парамагнитных кристаллов [Зверев и Прохоров, 1958, 1960; Емельянова и др., 1963]. Эти исследования имели своей целью поиск материалов для квантовой электроники [Зверев и др., 1962]. Главным центром их проведения оставался ФИАН, а также НИИ ядерной физики (НИИЯФ) МГУ, где А.М. Прохоров с 1954 г. также руководил лабораторией радиоспектроскопии. Кроме того, М. Е. Жаботинский, работавший до 1953 г. в рамках Радиосовета АН СССР совместно с А. М. Прохоровым в лаборатории колебаний ФИАН, перешел в только что образованный Институт радиоэлектроники (ИРЭ) АН СССР, который в итоге стал еще одним центром работ по магнитному резонансу. В ИРЭ впоследствии собралась сильная группа экспериментаторов и теоретиков (М. И. Родак, А. Е. Мефёд, В. А. Ацаркин и др.), выполнивших классические исследования магнитной релаксации, спин-спиновых взаимодействий, подвергших экспериментальной проверке концепцию Б. Н. Провоторова о двух связанных резервуарах энергии (см. ниже) и др. [Ацаркин и др., 1968; Мефёд и Родак, 1970; Жаботинский и др., 1971].

Наряду с чисто физическими исследованиями начались работы в области химической и биологической ЭПР и ЯМР-спектроскопии. Разумеется, разделение работ на химические и биологические применения ЭПР, используемое в дальнейшем описании, в известной мере условно.

Химическая ЯМР-спектроскопия. В ИХФ с конца 1950-х гг. начинаются магнитно-резонансные исследования в группе М. Б. Неймана его учениками и сотрудниками А. Л. Бучаченко, Г. И. Лихтенштейном и Э. Г. Розанцевым, давшие начало спиновой химии (А. Л. Бучаченко, Ю. Н. Молин, К. М. Салихов), а также появлению и развитию метода спиновых меток [Neiman et al., 1962, Лихтенштейн, 1968; Бучаченко и др., 1970, 1978; Бучаченко, 1976, Likhtenshtein, 2016].

Работы, начатые в группе Воеводского в середине 1950-х, продолжились его учениками в ИХФ после его перехода в новосибирский ИХКиГ вместе со значительной частью сотрудников. Среди этих работ — исследования по адсорбции и гетерогенному катализу [Казанский и др., 1960, 1961,

1963; Мащенко и др., 1965], исследования реакций свободных радикалов в твердой фазе [Цветков и др., 1959; Лебедев и др., 1963], применение ЭПР для изучения строения веществ и издание атласов спектров ЭПР [Лебедев и др., 1962; Лебедев и Тихомирова, 1963] и др. Я.С. Лебедев, понимая ограничения метода ЭПР в «обычном» диапазоне частот СВЧ (3 см, 8 мм), впоследствии создаст новое направление в ЭПР-спектроскопии — высокопольную ЭПР-спектроскопию [Гринберг и др., 1983; Lebedev, 1994], под его руководством будет разработан (и даже выпущен малой серией) первый прибор 2-миллиметрового диапазона (D band) [Галкин и др., 1977].

ЯМР-спектроскопия в ИХФ в ранний период (конец 1950-х–начало 1960-х) была представлена лабораторией Л.Л. Декабруна [Декабрун и Пурмаль, 1957]. Интерес самого Л.Л. Декабруна в большей степени лежал в области разработки инструментария для ЯМР-спектроскопии [Быстров и др., 1961; Ветров и Декабрун, 1964; Декабрун и Кильянов, 1975]. В этой области ему удалось добиться определенного успеха — в той мере, в какой это вообще было возможно в такой технологически сложной области, как ЯМР-спектроскопия высокого разрешения, в условиях советского серийного производства (см. об этом в разделе «Научное приборостроение в области ЭПР и ЯМР-спектроскопии в СССР»). Ряд работ по химической ЯМР-спектроскопии его коллег из ИХФ и филиала ИХФ в Черноголовке вышел в эти и последующие годы [Тартаковский и др., 1965; Лагодзинская, 1970].

В теоротделе и в лаборатории квантовой химии ИХФ (руководители А.С. Компанеец и Н.Д. Соколов) молодыми теоретиками И.В. Александровым, Н.Н. Корстом, Е.Е. Никитиным, Б.Н. Провоторовым, Т.Н. Хазановичем и их учениками были получены ставшие впоследствии класическими результаты по теории парамагнитной релаксации. Так, Б.Н. Провоторовым было обосновано существование двух взаимно связанных резервуаров спиновой энергии: зеемановского (взаимодействия спиновых магнитных моментов с внешним магнитным полем) и спин-спинового (взаимодействий спинов между собой и с локальными полями).

Благодаря расширению ИХФ и созданию его филиала, работы по магнитному резонансу начались и в новом научном центре — подмосковной Черноголовке. В филиале ИХФ в Черноголовке в результате коллективных усилий многих сотрудников ряда лабораторий (И.Ф. Щеголева, И.С. Краинского, В.А. Забродина, Г.В. Лагодзинской и др.) и мастерских (В.К. Энмана и др.) к началу 1970-х гг. были разработаны и запущены единственные тогда в СССР спектрометры ЯМР в сильном магнитном поле, на сверхпроводящих магнитах (прибор на 180 МГц — к 1970 г. и на 200 МГц и на 294 МГц к 1974 г.; например, [Забродин и др., 1971; Nazarov et al., 1972]). Л.Н. Ерофеевым в лаборатории Г.Б. Манелиса были разработаны спектрометры двойного ЯМР и спектрометры ЯМР для исследования твердого тела. Туда же с середины 1970-х отчасти «переместились» теоретические работы (Б.Н. Провоторов, Э.Б. Фельдман).

Химическая ЯМР-спектроскопия стала непременным методом исследований во многих химических институтах Москвы в 1960-х: в НИФХИ им. Л. Я. Карпова, в Институте общей химии (ИОХ) им. Н. Д. Зелинского, в Институте элементоорганических соединений (ИНЭОС), в Институте ископаемых видов топлива и др. Так, в ИОХ, в институтском СКБ, был создан отдел ЯМР-спектроскопии, в котором работали выдающиеся отечественные разработчики А. Н. Любимов и А. Ф. Вареник. В ИНЭОС работала физическая лаборатория структурного анализа А. И. Китайгородского с сильной группой ЯМР (Э. И. Федин, П. В. Петровский, И. П. Амитон и др.). Директор ИНЭОС А. Н. Несмеянов, возглавлявший также кафедру органической химии химического факультета Московского государственного университета (МГУ), инициировал создание на химфаке ЯМР-спектроскопической группы, а впоследствии и лаборатории, первые работы которой относились в основном к области металлорганических соединений [Nesmeyanov et al., 1968]. Большим энтузиастом внедрения ЯМР-спектроскопии в химические исследования был также профессор кафедры физической химии А. В. Киселев.

После завершения периода гонений, связанных с теорией резонанса в химии, вернулись к запланированным десятилетие назад работам по химической ЭПР-спектроскопии Я. К. Сыркин и М. Е. Дяткина в Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова (ИОНХ) и Московском институте тонкой химической технологии (МИТХТ). С 1959 г. их исследования в этой области посвящены преимущественно металлоорганическим соединениям [Казакова и Сыркин, 1960; Морозова и Дяткина, 1962].

«Биологический ЭПР», начавшись с работ Л. А. Блюменфельда в 1957 г. [Блюменфельд, 1957; Блюменфельд и Калмансон, 1957], начал стремительно расцветать с конца 1950-х гг. Так, учеником Блюменфельда А. Ф. Ваниным был впервые обнаружен оксид азота в биологических тканях [Ванин и др., 1967] (как известно, впоследствии (в 1998 г.) за открытие роли оксида азота как сигнальной молекулы в регуляции сердечно-сосудистой системы была присуждена Нобелевская премия). Еще одним крупным достижением этой группы стало открытие двойного электрон-электронного резонанса [Benderskii et al., 1968] одновременно с Дж. Хайдом и независимо от него [Hyde et al., 1968]. Заметной «ветвью» работ Блюменфельда и его учеников стало исследование биоэнергетических процессов [Blumenfeld and Ignatéva, 1974; Tikhonov et al., 1981]. Все это привело к формированию крупной биофизической школы, существенно выходящей за пределы биологической ЭПР-спектроскопии.

В начале 1960-х начались и исследования с применением ЭПР-спектроскопии в физиологии и медицине в Институте биологической физики (ИБФ) АН СССР сначала в Москве, затем в Пущино: изучается структура [Разумова и др., 1962] и функционирование миозина [Бржевская и др., 1966], процессы дыхания и окислительного фосфорилирования [Рихирева и др., 1966] и др. Одним из самых интересных и плодоносных направлений

становятся исследования фотобиофизики функционирования сетчатки глаза, начатые совместно М. А. Островским (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР) и Л. П. Каюшиным (ИБФ) в самом начале 1960-х гг. [Островский и Каюшин, 1963; Alekseev et al., 1974]. Это были практически первые в мире работы по проблемам фоторецепции с помощью ЭПР. Уже в результате первых исследований М. А. Островским было впервые высказано предположение о том, что пигментный эпителий, рассматривавшийся до того как черный экран или нейтральный фильтр, пассивно поглощающий рассеянный свет внутри глазного бокала, в действительности может играть активную роль в регуляции или реализации фоторецепторного акта в зрительных клетках [Островский, 1966, 1969]. В конечном счете эти и ряд других работ привели впоследствии к формированию нового научного направления — молекулярной физиологии зрения, одним из создателей которого признается М. А. Островский.

Тогда же, в самом конце 1950-х, были развернуты работы по ЭПР-спектроскопии сначала синтетических полимеров [Киселев и др., 1960], а затем и биологических соединений [Александров и др., 1961; Усатый и др., 1968] в только что созданном радиобиологическом отделе (РБО) Института атомной энергии. Инициатором их, по-видимому, был В. Ю. Гаврилов, возглавлявший РБО. Основной интерес в этих исследованиях (по крайней мере в их начале) представляли радикалы, образующиеся в веществе при радиоактивном облучении, их состав, стабильность и взаимодействия [Усатый и Панин, 1973].

3. Некоторые работы в Ленинграде

В Ленинграде работы в области магнитно-резонансной спектроскопии начались достаточно рано, как минимум с начала 1950-х гг. В Ленинградском государственном университете (ЛГУ) Ф. И. Скриповым была организована лаборатория магнитной спектроскопии. Скриповым были начаты работы (продолжающиеся в ЛГУ и по сей день) в области ЯМР в земном поле [Скрипов, 1958]. Любопытно, что в своей работе он фактически впервые применил преобразование Фурье в ЯМР-спектроскопии [Морозов и др., 1958]. Характерная история: попытка запатентовать этот метод наткнулась на сопротивление советского патентного ведомства и приоритет отечественной науки был утрачен, как это бывало в ее истории слишком часто [Устынюк, 2017]. (Чуть позже тот же подход был независимо предложен и разработан Р. Эрнстом.) Кроме того, им также были начаты работы по ЯМР высокого разрешения [Бородин и Скрипов, 1958]. Также в ЛГУ с начала 1960-х начались исследования в области акустического ЯМР В. А. Шутиловым и его учениками [Шутилов, 1962; Шутилов и Антокольский, 1967, 1969].

С конца 1950-х начались и работы в лениградском Физико-техническом институте в области ЭПР-спектроскопии свободных атомов, захваченных в полярных и неполярных средах [Житников и др., 1962; Baranov et al., 1968]

и по оптической ориентации атомов («оптической накачке») [Zhitnikov et al., 1969]. Развитие этих работ в последующие десятилетия закономерно привело к росту новых научных направлений, ЭПР-спектроскопии проводников и оптического детектирования магнитного резонанса (ОДМР), в которых ФТИ им. А. Ф. Иоффе занял лидирующие позиции [Baranov et al., 2011, 2017].

Кроме собственно научных работ, в Ленинграде также достаточно рано начались работы по разработке экспериментальной техники для изучения магнитного резонанса. Такие работы велись в СКБ аналитического приборостроения (СКБ АП) АН СССР с 1960 г., а позже в Лениградском электротехническом институте имени В.И. Ульянова (Ленина) (ЛЭТИ) (см. раздел «Научное приборостроение в области ЭПР и ЯМР-спектроскопии в СССР» в данной главе).

4. Минская школа ЭПР-спектроскопии

Работы по ЭПР-спектроскопии начались в Минске с 1956 г. в связи с переездом туда М. А. Ельяшевича, работавшего перед этим в Москве в Институте химической физики (ИХФ) АН СССР. Как было сказано выше, именно ИХФ фактически стал центром распространения метода ЭПР (а отчасти и ЯМР) в химических и биологических исследованиях. В середине 1950-х гг. в ИХФ велись бурные обсуждения возможностей магнитно-резонанасных методов в этих областях, и Ельяшевич был одним из их наиболее активных участников [Ptushenko & Zavoiskaya, 2017]. Научная школа, заложенная М. А. Ельяшевичем, в последующие десятилетия внесла заметный вклад в развитие химических, геологических, медицинских и др. применений ЭПР. Однако основным ее достижением явилась разработка целого класса специализированных малогабаритных ЭПР-спектрометров, давших импульс развитию работ с использованием метода ЭПР в СССР особенно в последнее десятилетие его существования. В этих разработках участвовали несколько поколений учеников М. А. Ельяшевича, среди которых основную роль играли С. С. Шушкевич (в 1960-х–1970-х гг.) и В. Н. Линев (с середины 1970-х гг.). Подробнее об этих разработках будет рассказано в разделе, посвященном научному приборостроению в области ЭПР и ЯМР-спектроскопии в СССР.

5. Работы по химической ЯМР-спектроскопии таллинской группы Э. Т. Липпмаа

В 1962 г. на арене ЯМР высокого разрешения, где уже выступали Декабрун с Быстровым и Самитов, кроме групп Любимова и Клеймана, появился новый выдающийся специалист со своей уже созревшей командой — эстонский физикохимик из Таллинского политехнического института Эндель Липпмаа [Липпмаа, 1962; Кессених, 2007]. К этому времени Липпмаа со всей своей группой и аппаратурой перешел в новый Институт киберне-

тики АН Эстонской ССР, возглавив там сектор физики. Его целью отнюдь не было дать советской промышленности образец для серийного выпуска спектрометра ПМР. Освоив на приличном уровне ПМР (включая протон-протонные двойные резонансы), Липпмаа поставил задачу освоить спектроскопию очень важного для органической химии углерода (изотопа ^{13}C), что требовало специальных методов (в частности, двойного резонанса протон–углерод) и резко повышенной чувствительности, немыслимой без накопления данных при многократных прохождениях. Снабдив свои приборы (а их было уже не менее четырех) компьютерными приставками, раздобытыми в Финляндии, Липпмаа вывел свою лабораторию на одно из первых мест в мире по спектроскопии ЯМР ^{13}C, ^{15}N и заодно ^{14}N уже к 1965 г. [Реутов и др., 1968; Lippmaa et al., 1970].

6. Исследования в области акустических резонансов в Киеве и Харькове

М. Ф. Дейген в Киеве начал с 1957 г. работы в области радиоспектроскопии неметаллических кристаллов, которые вскоре развернулись в большом масштабе в созданном Дейгеном отделе радиоспектроскопии (в выделившимся из Института физики в 1960 г. Институте полупроводников АН УССР). Одним из основных направлений отдела стало развитие метода двойного электронно-ядерного резонанса (ДЭЯР), в котором Дейген увидел исключительно информативный и перспективный метод. Была создана первая в стране установка ДЭЯР. Среди результатов работ на ней — экспериментальное определение распределения электронной плотности в ряде кристаллов, определение структуры энергетических зон и др. Систематическим изучением влияния внешних факторов (температуры, давления, электических полей) на спектры ЭПР и ДЭЯР было заложено новое направление — изучение локальных свойств вещества вблизи дефекта методами радиоспектроскопии (Бонч-Бруевич и др., 1978). Экспериментальные исследования стимулировали и совершенствование теории частот, интенсивностей и формы линий ДЭЯР. Также Дейген предсказал двойной электронно-ядерный магнитно-акустический резонанс (вызываемые ультразвуком переходы между ядерными подуровнями), обнаруженный экспериментально через два года (Дейген и Жеру, 1967).

Приблизительно с начала 1960-х гг. начались работы по гиперзвуковым исследованиям, а затем и по АПР, в Институте радиофизики и электроники АН УССР в Харькове [Ганапольский и Чернец, 1963; Ганапольский, 1973].

7. Тбилиси

В Тбилиси еще с начала 1950-х работал Г. Р. Хуцишвили, бывший до того аспирантом Л. Д. Ландау. С этого времени в Институте физики АН Грузинской СССР, а затем и в Тбилисском государственном университете начала

зарождаться и к середине 1960-х гг. сформировалась мощная группа теоретиков: Г.Р. Хуцишвили, Л.Л. Буишвили, М.Д. Звиададзе и др. [Буишвили и др., 1960, 1968; Хуцишвили, 1958а, б]. Развернула работы по ЭПР полимеров кристаллов группа Т.И. Санадзе [Санадзе, 1957; Санадзе и Хуцишвили, 1969]. Их работы охватывают широкий круг явлений, включая проблемы запрещенных переходов и магнитной релаксации, форму линии и эффекты насыщения, эффект Оверхаузера, ЭПР, ЯМР и ФМР. Заметим, что между научными группами даже в столь отдаленных друг от друга городах, как Тбилиси (или Таллин) и Москва, существовал достаточно тесный контакт, что хорошо видно по смешанному составу авторов ряда работ или по благодарностям, выражаемым в статьях.

8. Ереван

В непосредственной связи с работами в ИХФ были начаты работы по ЭПР в Армении. Ученик Н.Н. Семенова А.Б. Налбандян, избранный в 1960 г. членом-корреспондентом (а с 1963 г. — академиком) АН Армянской ССР, в 1959 г. основал в Ереване лабораторию химической физики (ЛХФ) АН Армянской ССР, позже преобразованную в Институт химической физики АН Армянской ССР. Тематика многих работ была связана с интересами А.Б. Налбандяна в более ранний период [Налбандян и Воеводский, 1949], т.е. с механизмами горения [Налбандян и др., 1962; Сачян и Налбандян, 1964; Гарибян и др., 1967, 1969)], в частности, с кинетикой и механизмом вырожденных разветвленных реакций. В ходе этих работ в ЛХФ был разработан и широко применялся в сочетании с методами ЭПР и лазерного магнитного резонанса метод вымораживания радикалов. Возможности и ограничения этих методов, а также результаты работ с их применением были впоследствии обобщены в нескольких монографиях [Налбандян и Манташян, 1975; Гершензон и др., 1987].

9. Магнитно-резонансная спектроскопия в Перми (Молотове)

Магнитно-резонансная тематика появилась в Перми вместе с И.Г. Шапошиковым. Удивительная траектория жизни этого человека (Воронеж–Владивосток–Москва–Владивосток–Казань–Николаев–Казань–Пермь) пересеклась с траекторией Завойского в самый важный период — время открытия ЭПР. После возвращения с фронта он короткое время (1945–1946) работал в КГУ на объединенной кафедре экспериментальной и теоретической физики, которой в тот момент заведовал Е.К. Завойский. Одной из разарабатываемых им тем, которая была указана в отчете кафедры, была парамагнитная релаксация [Силкин, 2005, с. 159]. Уже в 1946 г. он стал заведующим «отделившейся» кафедры теоретической физики, а в 1948 г. перешел на работу в Пермский университет (в тот момент — Молотовский государственный университет имени А.М. Горького). Однако тематика парамагнитной релаксации осталась в кругу интересовавших его вопросов.

Кроме работ, выполненных еще в «казанский период» [Шапошников, 1947, 1948, 1949], он регулярно обращался к этим вопросам и позже [Шапошников, 1956; Шапошников и Кузнецов, 1956; Цирульникова и Шапошников, 1964; Кадыров и Шапошников, 1970].

Как минимум с конца 1950-х в Пермском государственном университете начинают появляться исследования и других авторов в самых разных областях магнитного резонанса: ЭПР, ЯМР, ЯКР и смежных явлений, в кристаллах, газах, в биологических системах [Гречишкин, 1958; Курушин, 1959; Семаков, 1959; Гречишкин и Айбиндер, 1961; Гречишкин и Сойфер, 1962]. Ведутся и разработки приборов для исследований магнитного резонанса: для наблюдений ЯКР, квадрупольного спинового эхо, датчиков для ЯМР, элементов автоматизации эксперимента [Гущин и др., 1967; Зеленин и Субботин, 1967; Зеленин и Кушков, 1969]. Судя по изданному недавно сборнику трудов ученых Пермского университета [Моковина и Тетерина, 2016], в течение десятилетия (1960–1970) появляется множество работ. К сожалению, в большинстве своем они опубликованы в малодоступных локальных изданиях «Труды ЕНИ при Пермском гос. университете», «Ученые записки Пермского гос. университета», «Известия вузов», «Радиоспектроскопия», сборники тезисов и др.). Перечислить всех, кто занимался в Пермском университете проблемами магнитного резонанса, невозможно; среди авторов теоретических и экспериментальных работ чаще всего встречаются имена В. С. Гречишкина, Н. Е. Айбиндера, Г. Б. Сойфера, И. А. Кюнцеля, М. Л. Златогорского, Л. М. Цирульниковой. Среди разработчиков — В. П. Зеленин, В. А. Кушков, Г. И. Субботин, С. И. Гущин, В. А. Шишкин, Б. Г. Дерендяев, Ю. И. Розенберг, Г. Г. Кудымов, Ю. Г. Светлов.

10. Свердловск

В Свердловске еще с 1940-х гг. начала складываться научная школа по физике магнитных явлений, главным образом благодаря деятельности С. В. Вонсовского (так, уже в 1948 г. выходит его капитальный труд [Вонсовский и Шур 1948]). Недаром и Первая Всесоюзная конференция по физике магнитных явлений 1946 г., на которую были приглашены Е. К. Завойский и Б. М. Козырев, прошла в г. Свердловске. С середины 1950-х там также начинаются работы по ЭПР, ЯМР и ФМР-спектроскопии, в основном в Уральском политехническом институте им. С. М. Кирова, при участии или под влиянием Г.В. Скроцкого [Скроцкий и Курбатов, 1958; Чирков и Матевосян, 1957; Скроцкий и Кокин, 1959; Кокин и Изместьев, 1965] возникает знаменитая Уральская школа магнитного резонанса.

Кроме собственно научного вклада, уральская школа, а точнее ее лидер Г. В. Скроцкий, породила еще одно прекрасное явления в научном мире: регулярные Всесоюзные школы по магнитному резонансу, которые с 1968 г. проходили раз в два года в разных уголках страны. На эти школы

съзжались молодве (и не только молодые) ученые из разных городов, и они становились местом интенсивного обмена опытом, установления рабочих и дружеских связей в советском магнитно-резонансном сообществе.

11. Новосибирская школа ЭПР-спектроскопии (школа В. В. Воеводского)

Начало исследований в области ЭПР и ЯМР спектроскопии в Новосибирске связано с переходом во вновь созданный Институт химической кинетики и горения (ИХКиГ) СО АН СССР группы В. В. Воеводского из московского ИХФ. Хотя формально Воеводский с сотрудниками переходят в ИХКиГ в 1959 г., в это время еще продолжается строительство здания института и фактически переезд группы в Новосибирск происходит в 1961 г. С этого момента можно вести отсчет собственно новосибирских работ и нового этапа развития школы химической радиоспектроскопии В. В. Воеводского. Разумеется, сохраняются тесные связи с москвскими коллегами, прежде всего из альма-матер — ИХФ, с которыми в эти годы были выполнены многие совместные работы.

В рассматриваемое десятилетие (1961–1970) продолжаются исследования радиолиза, начинавшиеся с установки ЭПР-спектрометра под пучок электронов в ускорителе в ИХФ в 1957 г. Изучается рекомбинация образующихся радикалов, внутримолекулярный перенос энергии и др. [Молин и др., 1961; Ермолаев и др., 1962; Tsvetkov et al., 1964; Самойлова и др., 1969]. Также исследуются реакции горения, образование радикалов в которых регистрируется по ЭПР-спектрам [Панфилов и др., 1960, 1965]. В сфере внимания формирующейся школы радиоспектроскопии оказываются и фотохимия [Бубнов и др., 1964], и вопросы химии полимеров [Бажин и др., 1964], и проблемы катализа [Шаповалова и др., 1967], и биологические задачи, решаемые совместно с Институтом цитологии и генетики СО АН СССР [Лебедева и др., 1966].

Развиваются релаксационные методы, метод спинового эха [Воеводский и др., 1967; Райцимринг и др., 1967; Цветков и др., 1968; Tsvetkov and Raitsimring, 1970; Milov et al., 1971]. При этом интерпретация и теоретическое осмысление результатов экспериментальных работ по спиновому эхо — это также заслуга теоретиков ИХКиГ, и в первую очередь К. М. Салихова. В ИХКиГ активно развивается теория обменных взаимодействий, спинового эха, спиновых волн и др. [Салихов, 1967; Жидомиров и Салихов, 1968; Скубневская и др., 1970; Salikhov et al., 1971]. Наконец, уже в этот период зарождается направление, которое будет активно развиваться в течение следующего десятилетия и станет известно как «спиновая химия» [Sagdeev et al., 1973].

Наряду с ЭПР, начинаются также работы по химическому ЯМР [Замараев и др., 1966], включая применения в биофизических задачах, например для исследования структуры гликозидов женьшеня или денатурации т-РНК [Дзизенко и др., 1964; Молин и Беккер, 1967]; исследуются вопросы о соот-

ветствии картин, даваемых этими двумя методами (ЭПР и ЯМР) [Заев и др., 1967]. В этот же период начинаются работы со спиновыми метками — иминоксильными радикалами [Volodarskii et al., 1968; Сагдеев и др., 1969]. Работы В. И. Гольданского по химии позитрония привлекают к решению этих «экзотических» задач и школу Воеводского [Гольданский и др., 1969].

Отметим также, что уже в этот период метод ЯМР начинает выходить за пределы ИХКиГ и в дальнейшем еще одним центром химической ЯМР (а затем и ЭПР) спектроскопии в Новосибирске станет Институт органической химии АН СССР.

12. ЯМР-спектроскопия в Красноярске

Возникновение красноярской школы ЯМР-спектроскопии связано с именем А. Г. Лундина. Выпускник Московского энергетического института, проработавший три года в знаменитом «капичнике» — Институте физических проблем (ИФП) АН СССР, сдававший теорминимум Л. Д. Ландау, он в 1950 г. в силу нараставшей в СССР борьбы с космополитизмом был направлен в Красноярск для работы на радиозаводе, на котором проработал 13 лет. Однако Лундин постарался преодолеть вынужденное «отлучение» от науки и уже в 1951 г. договорился о проведении в свободное время научной работы совместно с Г. М. Михайловым на кафедре физики Сибирского лесотехнического института, которой руководил П. С. Сарапкин. Еще в ИФП он заинтересовался только что открытым ЯМР, им и решил заняться в Красноярске. Благодаря поддержке Л. В. Киренского, с которым был дружен П. С. Сарапкин, он смог начать эксперименты, которые вскоре увенчались успехом. К 1957 А. Г. Лундин с коллегами собрали спектрометр с вращающимся магнитом (установленным на лафете зенитного орудия), что позволяло изучать ориентационные эффекты в кристаллах [Захаров, 2001]. Через 13 лет работы на заводе, в 1963 г., А. Г. Лундин был приглашен Л. В. Киренским в Институт физики (ИФ) СО АН СССР, который с этого момента стал центром работ по ЯМР-спектроскопии в Красноярске.

Основным направлением работ школы Лундина стала ЯМР-спектроскопия кристаллов: кристаллогидратов, кристаллов органических кислот, минералов и др. [Михайлов и др., 1961; Белицкий и др., 1967]. Отдельно надо отметить исследования сегнетоэлектрических фазовых переходов и природы возникновения сегнетоэлектричества [Лундин и др., 1961, 1969; Москвич и др., 1980]. Велись работы в области теории магнитного резонанса, например, изучение влияния внутренних молекулярных движений на спектры ЯМР [Зобов и др., 1976; Лундин и др., 1978]. Также были разработаны принципы решения «обратной» задачи в проблеме формы линии ЯМР — определения параметров кристаллической ячейки на основе ориентационных зависимостей спектров [Фалалеев и др., 1974].

Несмотря на то, что ИФ СО АН удалось довольно рано (в 1964 г.) получить фирменный японский ЯМР-спектрометр JNM-3H-60, значительная часть аппаратуры, на которой выполнялись исследовния, и до и после была

сделана в самом ИФ. Одним из главных достижений коллектива А. Г. Лундина можно считать создание спектрометра ЯМР широких линий со сверхпроводящим магнитом для исследования твердых тел — «ЯМР-213М», выпущенного малой серией (об этом будет сказано в разделе «Научное приборостроение в области ЭПР и ЯМР-спектроскопии в СССР»). Кроме этой, наиболее крупной задачи, решались и более мелкие: были созданы высокотемпературные датчики ЯМР, аппаратура для записи спектров при высоких гидростатических давлениях, системы автоматизации эксперимента и обработки спектров ЯМР. Развивались новые методики, в том числе и импульсные [Зеер, 2015]. Создавалась и аппаратура для ЭПР: спектрометр ЭПР 8-миллиметрового диапазона, в котором осуществлялось одноосное давление на образец; комплекс магнетометров на основе метода ЭПР «ЭПРАН-1200» для геофизических измерений (Э. П. Зеер, Г. Ф. Лыбзиков, В. В. Меньшиков, С. А. Трофимов, В. В. Лисин и др.). Однако эти разработки относятся уже к более позднему времени, чем описываемый нами период 1960-х – первой половины 1970-х гг.

Научное приборостроение в области ЭПР и ЯМР-спектроскопии в СССР

Как мы уже упоминали выше, бурное развитие исследований по химической и биологической радиоспектроскопии в СССР началось с работ групп В. В. Воеводского и Л. А. Блюменфельда в Институте химической физики (ИХФ) АН СССР в середине 1950-х гг. Там же, в группе В. В. Воеводского, наметился и еще один прорыв — в области приборостроения ЭПР, благодаря работе его молодых колег: Н. Н. Бубнова, Ю. Н. Молина, А. Г. Семёнова, Ю. Д. Цветкова, В. М. Чибрикина [Птушенко, 2018]. В результате достаточно долгих коллектиных поисков А. Г. Семеновым был разработан оригинальный спектрометр, получивший известность под име_ нем ЭПР-2. Конструктивные данные этого прибора позволяли с достаточной точностью изучать химические реакции, в процессе которых образуются свободные радикалы (проходной резонатор, двойная модуляция, автоматическая подстройка частоты генератора [Блюменфельд и др., 1962]). На известном уровне проблема с оригинальной отечественной аппаратурой ЭПР была решена на несколько лет вперед. На основе ЭПР-2 в ленинградском СКБ аналитического приборостроения (СКБ АП) АН СССР была разработана серийная версия прибора, которая под именем РЭ1301 в течение пятнадцати лет (до 1976 г.) затем выпускалась Смоленским заводом средств автоматики [Архив ИАП РАН, 1984, л. 151]. Исследования с применением ЭПР развернулись во вновь возникших на волне так называемой «большой химии» в Новосибирске Институте химической кинетики и горения СО АН СССР, Черноголовском филиале ИХФ, успешно развивались и в самом ИХФ. Конечно, качество заводских приборов оставляло иногда желать лучшего. Так, Г. И. Лихтенштейн [2000] вспоминал, как будущему

академику А. Л. Бучаченко пришлось отлаживать полученный с завода или из СКБ АП РЭ1301. Но все же отечественные приборы ЭПР были. Была (особенно в начале 1960-х) и оригинальная отечественная литература по ЭПР (см. главу 4, раздел II).

Говоря о развитии приборостроения для ЭПР-спектроскопии в целом, включая более поздние периоды, приходится отметить, что в дальнейшем его успехи были более скромные. Советское научное приборостроение не успевало за темпами развития западных наукоемких технологий в эпоху научно-технической революции. Разумеется, разработка новых приборов продолжалась. Так, в СКБ АП АН СССР в 1960-х и 1970-х гг. был разработан еще целый ряд ЭПР-спектрометров серии РЭ, включая спектрометры как традиционного 3-сантиметрового, так и 8-миллиметрового диапазонов. Эти приборы были наиболее массовыми: за два с лишним десятилетия (с начала 1960-х по середину 1980-х) было выпущено несколько сотен приборов этой серии. Наряду с этими серийными приборами также были разработаны и выпущены малыми сериями более «продвинутые» приборы. Наиболее известные из них — ЭПР-3 («Сибирь»), разработанный в середине 1960-х гг. А. Г. Семеновым в новосибирском ИХКиГ СО АН СССР и выпущенный Опытным заводом СО АН СССР (45 штук). Там же к середине 1970-х гг. был разработан под руководством Ю. Д. Цветкова импульсный ЭПР-спектрометр (впрочем, попытки организовать его серийное производство не увенчались успехом). Разработки велись в московском ИХФ АН СССР в лаборатории Я. С. Лебедева, увенчавшись созданием совместно с Донецким физико-техническом институтом АН УССР (руководитель Л. Г. Оранский) первого высокополевого прибора (2-миллиметрового диапазона). Разработками специализированных ЭПР-спектрометров занимались также в Лениградском электротехническом институте (ЛЭТИ); производство их малыми сериями осуществлялось на знаменитом Ленинградском объединении электронного приборостроения «Светлана».

Самым крупным достижением последних лет в области разработок, имеющих значение в качестве серийных приборов, на наш взгляд, явилась разработка в Белорусском государственном университете (БГУ) специализированных малогабаритных ЭПР-спектрометров. Работа началась с середины 1970-х гг. под руководством ученика М. А. Ельяшевича С. С. Шушкевича (впоследствии получившего мировую известность в совсем другой области). Основным исполнителем этих работ был В. Н. Линев, который впоследствии смог сохранить произвоство малогабаритных ЭПР-спектрометров в период общего экономического кризиса в СССР, а затем в независимой Белоруссии. За несколько лет ему и его группе удалось разработать приборы фантастически малых размеров, массой от 28 до 50 кг, а оригинальное применение постоянного магнита (вместо электромагнита) в качестве источника поля позволило сократить массу до 8 кг! Напомним, что в случае «обычных» ЭПР-спектрометров, в том числе наиболее массовой серии РЭ, счет шел на тонны. Такая миниатюризация,

наряду со значительным снижением энергопотребления, увеличением помехоустойчивости и др., позволила использовать эти приборы в качестве экспедиционных при разведке полезных ископаемых, в производстве (в заводских условиях), в медицинских клиниках и т. п. Заметим, что эта ветка производства ЭПР-спектрометров — единственная, которая пережила СССР и сохранилась на постсоветском пространстве (под маркой «Адани»), причем вплоть до сегодняшнего дня.

В области ЯМР дела обстояли хуже. Литература по ЯМР (сперва переводная) в начале 1960-х только начала появляться. О стажировке за границей тогда почти и не мечтали, хотя ограничение на выезд советских и приезд иностранных специалистов было частично снято после 1955 г. Дела с аппаратурой ЯМР обстояли совсем плохо. Попытки создать в СССР приборостроение ЯМР для химии оказались скорее неудачными. Если с конструкцией простейшего спектрометра ЭПР СКБ АП справилось и завод его разработку как-то воспринял, проблема с запредельными по меркам невоенной промышленности СССР стабильностью отношения поля к частоте и однородности поля магнита (10^{-8}) казалась неразрешимой. СКБ начало с тех же 10^{-5}, пригодных для некоторых исследований широких линий в твердом теле. Опытная установка была громоздкой, дорогой и, в сущности, не нужной для химических лабораторий.

Кроме «модельного ряда» СКБ АП, уже в начале 1960-х было несколько других разработок и попыток запустить их в серийное производство. К 1961 г. была закончена работа над ЯМР-спектрометром с частотой 21 МГц для протонов в лаборатории Л. Л. Декабруна в ИХФ [Быстров и др., 1961]. На основе этой разработки конструкторское бюро Эстонской АН (руководитель Энно Лауд) в 1963 г. выпустило несколько опытных образцов спектрометра СЯМР-63 на постоянном магните с напряженностью поля около 0,5 Тл для ЯМР ^{1}H и ^{19}F. В качестве одного из «серьезных» учреждений, где долгие годы работал такой прибор, можно назвать НИФХИ им. Л. Я. Карпова в Москве. Одновременно разработал свою версию ЯМР-спектрометра на 27 МГц для протонов казанский исследователь Ю. Ю. Самитов, которая под названием КГУ-1 также поставлялись в некоторые центры химической промышленности СССР.

Счастливой для советской ЯМР-спектроскопии оказалась «находка» одного из уже упоминавшихся пионеров химической ЭПР-спектроскопии М. Б. Неймана: он отыскал в недрах КБ Министерства черной металлургии двух опытных специалистов по конструированию электромагнитов и электронной аппаратуры, прошедших через горнило оборонной «шарашки» (организации, где трудились в основном репрессированные специалисты, каковыми они и были) Александра Николаевича Любимова и Анатолия Федосеевича Вареника. Описание их работы, приведшей к созданию тогда почти современного (с опозданием порядка 5 лет против зарубежных аналогов) спектрометра ЯМР (ЦЛА 5535, затем РС-60) содержится в воспоминаниях Э. И. Федина [Федин, 2007] и интервью с И. Я. Слонимом

и др. [Кессених, 2014]. Отметим лишь, что успех Любимова и Вареника опирался на принцип стабилизации отношения поля к частоте с помощью вспомогательного сигнала ЯМР (точнее не придумаешь!). И еще на безупречную механическую и термическую (в восстановительной атмосфере) обработку полюсных наконечников магнита. Так была опровергнута легенда о том, что наши зарубежные предшественники ковали полюса своих магнитов из монокристалла железа, прозвучавшая однажды из уст отчаявшихся приборостроителей на семинаре по ЯМР в МГУ, который вела Н. М. Иевская. Непосредственно сотрудничавший с А. Н. Несмеяновым Э. И. Федин взял на себя инициативу возбудить общественное мнение научных и промышленных кругов в поддержку группы Любимова и против рутинного подхода СКБ АП АН СССР к проблеме ЯМР. Эта, по сути, трагикомическая история, берущая начало со статьи в «Литературной газете» 1963 г. [Несмеянов и Федин, 1963] изложена в воспоминаниях Федина [2007] и недавней статье [Ptushenko and Amiton, 2018]. Эрлен Ильич Федин после скандала, вызванного этой статьей и инициированного руководством СКБ АП, был вынужден взять на себя роль медиатора аппаратурных разработок для химической радиоспектроскопии ЯМР, и частично это ему удалось. К 1966 г. более или менее пригодные опытные образцы спектрометров ЯМР на 60 МГц для протонов имелись и в ленинградском СКБ АП (Ю. Л. Клейман) и в СКБ ИОХ АН СССР в Москве (теперь именно туда пристроили с помощью Федина группу Любимова). Разработки СКБ АП пошли на Смоленский завод, а разработки Любимова на приборостроительный завод в Сумах (РС-60). К сожалению, опыт показал, что ни тот ни другой завод не имели достаточной культуры производства для столь деликатной продукции как спектрометры ЯМР. Обычно их приборы приходилось доводить самим разработчикам. Было выпущено с грехом пополам не более двух десятков приборов, из которых успешно эксплуатировались лишь единицы.

К 1974 г. Э. П. Зеером в лаборатории А. Г. Лундина в красноярском Институте физики был разработан спектрометр ЯМР широких линий со сверхпроводящим соленоидом для исследования твердых тел (разработчики: А. Г. Лундин, Э. П. Зеер, Г. Ф. Лыбзиков, В. В. Меньшиков, Ю. А. Загородний, В. А. Бабаев, руководитель группы разработчиков — Э. П. Зеер). Этот прибор в 1974 г. был впервые выставлен на ВДНХ, после существенной доработки в 1975 г. — на международной осенней школе ЯМР в Лейпциге [Зеер, 2015], в 1976 г. — снова на ВДНХ, где отмечен золотой, серебряной и тремя бронзовыми медалями. А. Г. Лундин был дружен с Э. И. Фединым, который к этому времени возглавлял Комиссию по радиоспектроскопии АН СССР. Бывший сотрудник Э. И. Федина по ИНЭОС, Л. А. Федоров в это время работал заместителем по научной части начальника Управления научного приборостроения АН СССР. Благодаря этим знакомствам и энтузиазму А. Г. Лундина, Э. И. Федина и их соратников, Управление научного приборостроения приняло решение выпустить красноярский

ЯМР-спектрометр малой серией на Экспериментальном заводе научного приборостроения АН СССР в Черноголовке. В течение нескольких лет было выпущено десять приборов под маркой «ЯМР-213М».

Наконец, в самом конце 1970-х – начале 1980-х в СССР была сделана попытка организовать серийное производство высокопольного спектрометра ЯМР. По признанию самого СКБ АП АН СССР, «еще в начале семидесятых годов СКБ лелеяло мечту создать радиоспектрометр со сверхпроводящим соленоидом, но, к сожалению, рад причин не позволили СКБ приступить к его разработке до начала 1979 года» [Архив ИАП РАН, 1984, л. 163]. В 1979 г., благодаря энтузиазму руководителя Комиссии по радиоспектроскопии АН СССР Э. И. Федина, СКБ приступило к разработке такого прибора на основе лабораторного ЯМР-спектрометра высокого разрешения, разработанного в Черноголовском филиале ИХФ И. Ф. Щеголевым, И. С. Краинским, В. А. Забродиным, Г. В. Лагодзинской, В. К. Энманом и др. К 1982 г. СКБ «завершило разработку первого в СССР импульсного фурье-спектрометра с рабочей частотой для ядер ^{1}H-200 МГц со сверхпроводящим соленоидом РИ2304» [Архив ИАП РАН, 1984, л. 163]. К сожалению, время уже было упущено и в производство этот прибор не был передан: производство приборов для магнитно-резонансной спектроскопии на Смоленском заводе средств автоматики (входившем к тому моменту в ПО «Аналитприбор») было прекращено после 1982 г., а на Львовском ПО «Микроприбор» — еще не начаты в течение нескольких лет. Кроме того, уровень технологических требований для изготовления такого прибора был существенно выше, чем для всех производившихся ранее ЭПР и ЯМР-спектрометров, и вряд ли мог быть достигнут этими заводами.

Между тем среди отечественных химиков вызревало понимание, что без привлечения зарубежной аппаратуры им не обойтись. И первыми выписали себе японский прибор ПМР на 40 МГц химики Института высокомолекулярных соединений в Ленинграде. Это произошло уже в 1960 г., а в 1961 г. два спектрометра швейцарской фирмы «Трюб-Тойбер» на 25 МГц появились в головном институте Минхимпрома НИФХИ им. Л. Я. Карпова и в Институте элементоорганических соединений (ИНЭОСе) АН СССР, который возглавлял сам президент АН СССР А. Н. Несмеянов. Некоторые результаты применение этих приборов принесло, возник предмет для обсуждения с зарубежными химиками (которые уже не жили без ЯМР) новых органических и элементоорганических структур. Знакомство с продукцией «Трюб-Тойбера», снабженной постоянным магнитом, продемонстрировало бесперспективность попыток создать на уровне возможностей того времени приличный спектрометр ПМР на постоянном магните. Магнитная индукция, меньшая 2 Тл, не позволяла получить ни достаточной чувствительности, ни достаточного для протонного резонанса органических соединений разрешения (в силу особенностей протонных спектров, где спин-спиновые косвенные взаимодействия зачастую были одного порядка с разностью химических сдвигов на низких частотах ПМР). Правда,

для ЯМР фтора такие поля еще были как-то пригодны. Серьезные химики стали изыскивать средства для закупки иностранной техники. Спектрометры японской фирмы JEOL не выдерживали на Западе конкуренции с «Варианом», работающим на базе патента Блоха–Хансена и собравшим в своих лабораториях цвет специалистов по ЯМР США. Спектрометры японской фирмы вопреки эмбарго стали появляться в институтах АН СССР, в Московском университете (Ю. А. Устынюк и Н. М. Сергеев на химическом факультете) и в отдельных институтах с оборонной и медицинской тематикой. Средства, выделяемые Техснабэкспорту на их закупку, видимо, поступали от нефтяного экспорта. На химфаке МГУ и в Институте молекулярной биологии АН СССР появились первые японские «сотки» — приборы для ПМР на частоте 100 МГц.

* * *

С конца 1960-х подспудно чувствовалось, что в развитии магнитного резонанса наступает новая эра. Судьба магнитно-резонансных исследований в СССР также находилась на переломе. В некоторых областях теории мы были не только на равных, но и впереди (Б. Н. Провоторов из ИХФ со своей знаменитой теорией спин-спинового резервуара, его непосредственные ученики М. А. Кожушнер и О. И. Ольхов, М. И. Родак из Института радиоэлектроники АН СССР, грузинские теоретики, названные выше), зато категорическое отставание в области экспериментальной техники угнетало. Впрочем, какие-то успехи в исследовании и освоении динамической поляризации ядер в кристаллах и полимерах при насыщении ЭПР имели место. Отечественные физики фактически выступили как открыватели многочастичных методов динамической поляризации ядер (ДПЯ) (В. А. Ацаркин, А. Е. Мефёд и др. в ИРЭ АН, группа В. И. Лущикова, Ю.В. Тарана и др. в ОИЯИ, стажировавшаяся в лаборатории ФИАНа у А. А. Маненкова). В ОИЯИ на базе наработок, выполненных в лаборатории Маненкова, создали вслед за зарубежными специалистами протонную поляризованую мишень для исследования влияния протонных спинов на пучок нейтронов. Но то были лишь отдельные успехи, не затрагивавшие самой насущной проблемы — аппаратуры для химической спектроскопии ЯМР.

Итак, о начале новой эры в магнитно-резонансном эксперименте. Во-первых, переход к импульсному возбуждению и фурье-преобразованию полученного отклика. Каждый прибор должен для этого снабжаться компьютером, который задает программу этих процедур и в своей памяти накапливает результаты ее многократного повторения.

Во-вторых, пришло время сверхпроводников второго рода, имеющих достаточно высокие критические поля, и появилась возможность получать магнитные поля с индукцией 4 Тл и выше (частоты ПМР 200 МГц и более). В-третьих, ламповая электроника уходила в прошлое и ей на смену шла полупроводниковая. Перейти на полупроводниковые элементы было трудно, но еще доступно для нашей промышленности (хотя и этот процесс

задерживался). Были небезуспешными, хотя весьма робкими, и попытки разработать свои сверхпроводниковые соленоиды (суперконы в просторечии). Но с компьютерами и фурье-преобразованием что-то не ладилось. Большие ЭВМ были у наших разработчиков удачными, пока их насильно не посадили на иглу ЕС (ЕС — серия ЭВМ, активно использовавшихся в СССР с 1970-х гг.). Да большие ЭВМ и не подходили для спектрометра ЯМР, они были действительно большими и по занимаемой площади, и по требуемой энергии. А персональные компьютеры, пригодные для комплектации приборов, по неким соображениям были у нас чуть ли не под запретом.

Мировая наука готовилась к мощному рывку в области магнитно-резонансной аппаратуры, а мы были к этому рывку не готовы. Но некоторую косвенную пользу для решения проблемы обеспечения отечественной химии приборами ЯМР высокого разрешения этот происходящий почти без нашего участия рывок все же принес.

В 1967 г. Липпмаа окончательно обозначился как один из лидеров химической радиоспектроскопии ЯМР и не только в масштабе Советского Союза. Отделение общей и технической химии АН СССР провело 13 мая 1967 г. в ИОХ АН заседание, посвященное химическому ЯМР, где с докладами выступили и Федин и Самитов, но наиболее яркими были доклады В. Ф. Быстрова и Э. Липпмаа. Обсуждение дало однозначный результат: зарубежные приборы надо закупать. А зарубежные фирмы, и в том числе «Вариан» и только возникающий немецко-швейцарский «Брукер» как раз созрели для преодоления невыгодного для них эмбарго на поставку в Союз электронного оборудования (ранее на это решались лишь Финляндия и Япония).

Летом 1967 г. состоялась выставка оборудования фирмы «Вариан» в Москве. Столь желанные и необходимые для химиков «шестидесятки» и «сотки» ПМР с приставками для других ядер (фтора, фосфора), со стабилизацией по сигналу ЯМР, с системой корректирующих («шиммирующих») неоднородность поля катушек поступили с выставки в институты АН. Но — внимание — без компьютерных приставок, без фурье-преобразования! Фактически нам сплавляли морально устаревающее оборудование. Иную тактику избрала фирма «Брукер». Она сразу предложила спектрометры с фурье-преобразованием, хотя на 90 МГц, а не на 100 МГц, а это открывало путь к заветной спектроскопии ЯМР углерода. Правда это произойдет одним–двумя годами позже. И тогда «Вариан» вынужден будет, чтобы совсем не потерять довольно приличный рынок, преодолеть эмбарго и на фурье-спектрометры ЯМР, в том числе и с возможностью наблюдать ЯМР ^{13}C.

Годы 1967, 1968 и 1969 были также годами окончательной консолидации научного сообщества специалистов по магнитному резонансу СССР. В сентябре 1967 г. в Таллине состоялся Всесоюзный симпозиум по ЯМР. Тогда еще лаборатория Липпмаа была единственной, где можно было снимать спектры ЯМР углерода, «которые, — по словам Липпмаа, — нельзя

снимать даже на прекрасных приборах, приобретенных институтами Москвы и Новосибирска».

В 1968 г. по инициативе Г.В. Скроцкого и под эгидой украинских специалистов состоялась в Севастополе Первая Всесоюзная школа по магнитному резонансу, участников которой, кстати, довольно тепло принимало командование Черноморского флота и власти Севастополя. Впоследствии состоялось еще 11 таких Школ в самых разных уголках Союза от Черноголовки (1969) до Кунгура (1991). Особенно запомнились «плавучие» Школы на теплоходах от Красноярска до Дудинки (1975) и от Перми до Волгограда (1979). В тематику Школ входили практически все виды магнитных резонансов.

Мы считаем уместным завершить наше повествование 1969 годом, упомянув несколько ключевых событий этого года в СССР и в мире. В этом году были основаны международные научные журналы, специализирующиеся по тематике магнитных резонансов — Journal of Magnetic Resonance и Organic Magnetic Resonance (впоследствии Magnetic Resonance in Chemistry). В редколлегию последнего был включен от Союза Э. Липпмаа, который, кстати, в этом же году получил степень доктора физико-математических наук в альма-матер химической физики — ИХФ АН.

И, наконец, в 1969 г. состоялось юбилейная Международная конференция в Казани, посвященная 25-летию открытия ЭПР Е.К. Завойским. Невзирая на все трудности и недостатки, исследования магнитных резонансов и смежных явлений в СССР развивались, хотя о том, чтобы занимать передовые позиции, приходилось постепенно забывать. Редкими исключениями были отдельные выдающиеся успехи новосибирской школы (Ю.Н. Молин, К.М. Салихов, Рен. З. Сагдеев и др.) в области химической поляризации ядерных спинов в процессе радикальных реакций и казанской школы (С.А. Альтшулер, М.А. Теплов и др.) в исследованиях ванфлековских парамагнетиков со смешанным электронно-ядерным парамагнетизмом.

Литература к главе 3

1. *Alekseev S.*, *Kayushin L.*, *Lvov K.*, *Ostrovsky M.* (1974). Formation of paramagnetic centers in rhodopsin extracts and in outer segments // Studia Biophysica. — Vol. 43(3). — P. 193–199.
2. *Aminov L.K.* (1998) Spin-lattice relaxation studies in Kazan University. In: G.R. Eaton, S.S. Eaton, K.M. Salikhov (eds.) Foundations of Modern EPR. P. 51–56.
3. *Baranov P.G.*, *Zhitnikov R.A.* & *Melnikov N.I.* (1968). Paramagnetic resonance of silver atoms stabilized in alkali halide crystals // Physica Status Solidi (b). — Vol. 30(2). — P. 851–858.
4. *Baranov P.G.*, *Bundakova A.P.*, *Soltamova A.A.*, *Orlinskii S.B.*, *Borovykh I.V.*, *Zondervan, R. … & Schmidt J.* (2011). Silicon vacancy in SiC

as a promising quantum system for single-defect and single-photon spectroscopy // Physical Review B. — Vol. 83(12). — P. 125203.

5. *Baranov P.G.*, *Von Bardeleben H.J.*, *Jelezko F.*, & *Wrachtrup J.* (2017). Magnetic resonance of semiconductors and their nanostructures. — Springer Vienna.
6. *Benderskii V.A.*, *Blumenfeld L.A.*, *Stunzas P.A.*, & *Sokolov E.A.* (1968). Double Electron–Electron Resonance of Triplet Excitons in Ion-radical Salts // Nature. — Vol. 220(5165). — P. 365.
7. *Berim G.O.*, *Cherkasov F.G.*, *Kharakhash'yan E.G.*, *Talanov Yu.I.* Line shape of conduction electron spin resonance in spherical metal particle // Physica Status Solidi (a). — 1977. — Vol. 40(1). — K53–K55.
8. *Bloch F.*, *Hansen W.W.*, *Packard M.* (1946a) Nuclear induction // Physical Review. — Vol. 69. — P. 127.
9. *Bloch F.*, *Hansen W.W.*, *Packard M.* (1946b) The nuclear induction experiments // Physical Review. — Vol. 70. — P. 474–485.
10. *Blumenfeld L.A.*, *Ignatéva L.G.* (1974). Conformational Changes in Myosin under ATP Hydrolysis // European Journal of Biochemistry. — Vol. 47(1). — P. 75–79.
11. *Cherkasov F.G.*, *Kharakhash'yan E.G.*, *Medvedev L.I.*, *Novoselov N.I.*, *Talanov Yu.I.* Observation of intrinsic spin-lattice relaxation of conduction electrons in metallic lithium // Phys. Lett. A. — 1977. — Vol. 63(3). — P. 339–341.
12. *Cope F.W.*, *Sever R.J.*, *& Polis B.D.* (1963). Reversible free radical generation in the melanin granules of the eye by visible light // Archives of Biochemistry and Biophysics. — Vol. 100(2). — P. 171–177.
13. *Dyson F.J.* Electron spin resonance absorption in metals. II. Theory of electron diffusion and the skin effect // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98(2). — P. 349–359.
14. *Hyde J.S.*, *Chien J.C.*, *& Freed J.H.* (1968). Electron–electron double resonance of free radicals in solution // The Journal of Chemical Physics. — Vol. 48(9). — P. 4211–4226.
15. *Khasanov R.I.*, *Talanov Yu.I.*, *Vashakidze Yu.M.*, *Teitel'baum G.B.* Critical state of YBaCuO strip in perpendicular magnetic field as revealed by the scanning ESR-probe // Physica C: Superconductivity. — 1995. — 242 (3–4). — P. 333–341.
16. *Lebedev Y.S.* (1994). Very-high-field EPR and its applications. Applied Magnetic Resonance. — 7(2–3). — P. 339–362.
17. *Koptyug V.A.*, *Rezvukhin A.*, *Lippmaa E.*, *Pehk T.* Carbon-13 NMR and excess positive charge densities for mesitylenonium // Tetrahedron letters. — 1968. — N37. — P. 4009–4012.
18. Likhtenshtein GI (2016) Spin Labeling Methods. In: Electron Spin Interactions in Chemistry and Biology. Springer. P. 289–325.

19. *Lippmaa E.*, *Pehk T.*, *Buchachenko A.L.*, *Rykov S.V.* (1970). Chemically induced dynamic nuclear polarization of 13C nuclei in the thermal decomposition of organic peroxides. // Chemical Physics Letters. — 5(8). — P. 521–524.

20. *Milov A.D.*, *Salikhov K.M.*, *Tsvetkov Y.D.* (1971). Electron spin echo studies of magnetic relaxation in liquids: Solutions of 2, 4, 6 tri-t-butylphenoxyl // Chemical Physics Lettersю — 8(6). — P. 523–526.

21. *Mitrikas G.*, *Trapalis C.C.*, *Kordas G.* Electron spin-lattice relaxation of silver nanoparticles embedded in SiO2 and TiO2 matrices // J. Chem. Phys. — 1999. — 111(17). — P. 8098–8104.

22. *Nazarov V.B.*, *Zabrodin V.A.*, *Krainskii I.S.*, *Gal'perin L.N.* (1972). Compensators for non-uniformity of the magnetic field of a superconducting solenoid // Cryogenics. — 12. — P. 470–471.

23. *Neiman M.B.*, *Rozantzev É.G.*, *Mamedova Y.G.* (1962) Free radical reactions involving no unpaired electrons // Nature. — 196. — P. 472–474. doi: 10.1038/196472a0.

24. *Nesmeyanov A.N.*, *Ustynyuk Y.A.*, *Kritskaya I.I.*, *Shchembelov G.A.* (1968). Proton magnetic resonance spectra and structure of iron π-allyl complexes // Journal of Organometallic Chemistry. — 14(2). — P. 395–403.

25. *Post R.F.* (1946). A Proposed High Energy Particle Accelerator — The Cavitron. — Phys. Rev. — 69. — 26. doi: 10.1103/PhysRev.69.126.2

26. *Ptushenko V.V.*, *& Zavoiskaya N.E.* (2017). EPR in the USSR: the thorny path from birth to biological and chemical applications // Photosyn. Res. — 134(2). — 133–147.

27. *Rettori C.*, *Davidov D.*, *Chaikin P.*, *Orbach R.* Magnetic Resonance of a Localized Magnetic Moment in the Superconducting State: La Ru 2: Gd // Phys. Rev. Lett. — 1973. — 30(10). — P. 437–440.

28. *Sagdeev R.Z.*, *Molin Y.N.*, *Salikhov K.M.*, *Leshina T.V.*, *Kamha M.A.*, *& SheinS.M.* (1973). Effects of magnetic field on chemical reactions // Organic Magnetic Resonance. — 5(12). — P. 603–605.

29. *Salikhov K.M.*, *Doctorov A.B.*, *Molin Y.N.*, *& Zamaraev K.I.* (1971). Exchange broadening of ESR lines for solutions of free radicals and transition metal complexes // Journal of Magnetic Resonance. — 1969. — 5(2). — P. 189–205.

30. *Talanov Yu.*, *Salakhutdinov L.*, *Adachi T.*, *Noji T.*, *Koike Y.* EPR study of the local magnetic field distribution over the $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Y_xCu_2O_{8+y}$ crystal surface above the superconducting transition temperature // Appl. Magn. Resonance. — 2015. — 46(8). — P. 897–907.

31. *Tikhonov A.N.*, *Khomutov G.B.*, *Ruuge E.K.*, *Blumenfeld L.A.* (1981) Electron transport control in chloroplasts. Effects of photosynthetic control monitored by the intrathylakoid pH // Biochim. Biophys. Acta. — 637. — P. 321–333.

32. *Tsvetkov Yu. D.*, *Rowlands J. R.*, *Whiffen D. H.* Electron spin resonance studies of radiation damage in some aliphatic acids and salts // Journal of the Chemical Society. — 1964. — No 2. — P. 810–820.
33. *Tsvetkov Yu. D.*, *Raitsimring A. M.* Electron spin echo technique for spatial radical distribution investigation in irradiated solid substances: influence of LET and spur effects // Radiation Effects. — 1970. — Vol. 3, No 1–2. — P. 61–64.
34. *Volodarskii L. B.*, *Kutikova G. A.*, *Sagdeev R. Z.*, *Molin Yu. N.* A route to stable nitroxide radicals of imidazoline N-oxide // Tetrahedron Letters. — 1968. — No 9. — P. 1065–1068.
35. *Wassiliew W.*, *Syrkin J.*, *Kenez I.* (1935) Dipole Moment of Iodine // Nature. — 135. — P. 71. doi: 10.1038/135071c0
36. *Waters W. A.* (1946) The Chemistry of Free Radicals. — Clarendon Press, Oxford.
37. *Wolkenstein M.*, *Syrkin J. K.* (1937) Raman spectra of oxonium compounds // Nature. — 139. — P. 288–289. doi: 10.1038/139288b0
38. *Yablokov Y. V.* (1998). Paramagnetic resonance in the early years at the Zavoisky Institute. In: Eaton G. R., Eaton S. S., Salikhov K. M. (eds.) Foundations of Modern EPR. P. 57–62.
39. *Zhitnikov R. A.*, *Kuleshov P. P.*, *Okunevitch A. I.* Mixing in the excited state of 85Rb and 87Rb atoms at optical pumping in inert gases // Physics Letters A. — 1969. — T. 29, № 5. — C. 239–240.
40. *Аганов А. В.* Жизнь в науке и наука жизни. Магнитный резонанс и его люди. — Казань: Казанский униерситет, 2013. — С. 36–38.
41. *Александров А. А.*, *Гаврилов В. Ю.*, *Киселев А. Г.*, *Лазуркин Ю. С.*, *Мокульский М. А.* К вопросу о происхождении широких линий электронного парамагнитного резонанса в нуклеиновых кислотах и их комплексах с белками // ДАН СССР. — 1961. — Т. 141, № 6. — С. 1483–1485.
42. *Алексеевский Н. Е.*, *Гарифуллин И. А.*, *Гарифьянов Н. Н.*, *Кочелаев Б. И.*, *Нижанковский В. И.*, *Тагиров Л. Р.*, *Хлыбов Е. П.* Парамагнитные центры Cu2+ в образцах YBa2Cu3Ox с различной степенью орторомбичности // ФТТ. — 1988. — 30(5). — С. 1568–1570.
43. *Алексеевский Н. Е.*, *Гарифуллин И. А.*, *Кочелаев Б. И.*, *Харахашьян Э. Г.* Электронный резонанс на локализованных манитных моментах Er в сверхпроводящем La // Письма в ЖЭТФ. — 1973. — Т. 18, вып. 5 — С. 323–326.
44. *Альтшулер Н. С.*, *Ларионов А. Л.* Страницы научной и личной биографии С. А. Альтшулера // В сб.: В. П. Визгин, А. В. Кессених, К. А. Томилин (ред.). К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты. — СПб.: РХГА, 2014. — С. 263–314.

45. *Альтшулер Т. С.*, *Гарифуллин И. А.*, *Харахашьян Э. Г.* Наблюдение электронного спинового резонанса в сверхпроводнике II рода // ФТТ. — 1972. — 14(1). — С. 263–264.

46. *Альтшулер С. А.* Резонансное поглощение звука в парамагнетиках // ДАН СССР. — 1952. — Т. 85. — С. 1253–1238.

47. *Альтшулер С. А.* К теории электронного и ядерного парамагнитного резонанса под влиянием ультразвука // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 28, вып. 1. — С. 49–60.

48. *Аминов Л. К.* К теории спин-решеточной релаксации в парамагнитных ионных кристаллах // ЖЭТФ. — 1962. — Т. 42, вып. 3. — С. 783–786.

49. *Аминов Л. К.*, *Кочелаев Б. И.* Спин-спиновые взаимодействия через поле фононов в парамагнитных кристаллах // ЖЭТФ. — 1962. — Т. 42, вып. 5. — С. 1303–1306.

50. Архив ИАП РАН. «СКБ аналитического приборостроения Научно-технического объединения АН СССР, 1950–1983 гг.». — Ленинград, 1984.

51. *Ацаркин В. А.*, *Мефёд А. Е.*, *Родак М. И.* Связь электронных спин-спиновых взаимодействий с поляризацией и релаксацией ядер в рубине // ЖЭТФ. — 1968. — Т. 55, вып. 5(11). — С. 1671–1686.

52. *Бажин Н. М.*, *Чибрикин В. М.*, *Воеводский В. В.* Исследование некоторых типов полимеров с сопряженными связями методом электронного парамагнитного резонанса // Высокомолекулярные соединения. — 1964. — Т. 6, № 8. — С. 1478–1482.

53. *Белицкий И. А.*, *Габуда С. П.*, *Лундин А. Г.* Протонный магнитный резонанс и положение атомов водорода в природном эдингтоните // ДАН СССР. — 1967. — Т. 172, № 6. — С. 1318–1320.

54. *Блюменфельд Л. А.* Спектры парамагнитного резонанса биологических объектов и миграция энергии // Изв. АН СССР. Сер. биол. — 1957. — № 3. — С. 285.

55. *Блюменфельд Л. А.*, *Калмансон А. Э.* Спектры электронного парамагнитного резонанса биологических объектов. 1. Действие ионизирующего излучения на сухие препараты аминокислот, пептидов, белков и лиофилизированных тканей // Биофизика. — 1957. — Т. 2, № 5. — С. 552–565.

56. *Бонч-Бруевич В. Л.*, *Бугай А. А.*, *Грачев В. Г.*, *Патон Б. Е.*, *Пекар С. И.*, *Перлин Ю. Е.*, *Прихотъко А. Ф.*, *Ройцин А. Б.*, *Снитко О. В.*, *Штейншлейгер В. Б.* (1978). Памяти Михаила Федоровича Дейгена / Успехи физических наук. — 125(8). — С. 735–736.

57. *Бородин П. М.*, *Скрипов Р. Н.* Химические смещения и тонкая структура сигналов ЯМР 19F. II. Органические фторсодержащие соединения // Известия вузов. Радиофизика. — 1958. — Т. 1, № 4. — С. 69–80.

58. *Бржевская О. Н., Каюшин Л. П., Неделина О. Н.* О существовании свободных радикалов в реакции гидролиза АТФ актомиозином // Биофизика. — 1966. — Т. 11. — С. 213.
59. *Бубнов Н. Н., Бажин Н. М., Воеводский В. В.* О фотосенсибилизированном распаде предельных углеводородов и спиртов в твердой фазе // Кинетика и катализ. — 1964. — Т. 5, № 2. — С. 357.
60. *Буишвили Л. Л., Хуцишвили Г. Р., Чейшвили О. Д.* О магнитной релаксации в ферромагнитных металлах // ЖЭТФ. — 1960. — 39(3). — С. 726–736.
61. *Буишвили Л. Л., Звиададзе М. Д., Хуцишвили Г. Р.* Квантовостатистическая теория динамической поляризации ядер в случае неонородного уширения линии ЭПР // ЖЭТФ. — 1968. — 54(3). — С. 876–890.
62. *Бучаченко А. Л., Кессених А. В., Рыков С. В.* (1970). Динамическая поляризация ядерных спинов в процессе химических реакций // ЖЭТФ. — 1970. — 58(3). — С. 766–777.
63. *Бучаченко А. Л.* (1976). Магнитные эффекты в химических реакциях // Успехи химии. — 45(5). — С. 761–792.
64. *Бучаченко А. Л., Сагдеев Р. З., Салихов К. М.* Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях / Под ред. Ю.Н. Молина. — Новосибирск: Наука, 1978.
65. *Быстров В. Ф., Декабрун Л. Л., Кильянов Ю. Н., Степанянц А. У., Утянская Э. З.* Аппаратура высокого разрешения спектров ядерного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента. — 1961. — № 1. — С. 122–125.
66. *Ванин А. Ф., Блюменфельд Л. А., Четвериков А. Г.* К вопросу о природе сигналов ЭПР комплексов негеминового железа в клетках и тканях // Биофизика. — 1967. — Т. 12, № 5. — С. 829–839.
67. *Ветров О. Д., Декабрун Л. Л.* Многоцелевой датчик последовательности импульсов // Автоматика и телемеханика. — 1963. — Т. 24, № 11. — С. 1589–1592.
68. *Воеводский В. В.* Релаксационные методы ЭПР исследования свободных радикалов // VIII Международный симпозиум по свободным радикалам, Новосибирск, 26–31 июля 1967 г.: тезисы докл. — Новосибирск, 1967. — С. 131–136.
69. *Воздвиженский Г. С., Гудин Н. В., Шапник М. С., Гарифьянов Н. С., Ильясов А. В.* Исследование электродных процессов в водных растворах комплексов меди с органическими аминопроизводными методом электронного парамагнитного резонанса // Журнал физической химии. — 1964. — Т. 38, № 6. — С. 1682–1685.
70. *Воздвиженский Г. С., Шапник М. С., Ильясов А. В., Гарифьянов Н. С.* Исследование электродных процессов в водных растворах комплексов

меди методом электронного парамагнитного резонанса // Журнал физической химии. — 1965. — Т. 39, №1–3. — С. 64.

71. *Володарский Л. Б.*, *Коптюг В. А.* Использование методов молекулярной спектроскопии и ПМР для установления строения продуктов перегруппировки N-(1-оксимино-1,2,3,4-тетрагидронафтил-2)-гидроксиламина // Применение молекулярной спектроскопии в химии. — М., 1966. — С. 246–247.

72. *Вонсовский С. В.* (1947) Конференция по физике магнитных явления // Известия АН СССР. Серия физическая. — Т. XI, №2. — С. 207–212.

73. *Вонсовский С. В.*, *Шур Я. С.* Ферромагнетизм. — М.–Л., 1948.

74. *Галкин А. А.*, *Гринберг О. Я.*, *Дубинский А. А.*, *Кабдин Н. Н.*, *Крылов В. Н.*, *Курочкин В. И.*, *Лебедев Я. С.*, *Оранский Л. Г.*, *Шувалов В. Ф.* Спектрометр ЭПР двухмиллиметрового диапазона для химических исследований // Приборы и техника эксперимента. — 1977. — №4. — С. 284.

75. *Ганапольский Е. М.*, *Чернец А. Н.* (1963). Возбуждение гиперзвука медленными электромагнитными волнами. // ДАН СССР. — Т. 149, вып. 1. — С. 72–75.

76. *Ганапольский Е. М.* (1973). Акустический парамагнитный резонанс Fe^{2+} и Fe^{3+} в арсениде галлия // Физика твердого тела. — Т. 15, вып. 2. — С. 368–375.

77. *Ганапольский Е. М.*, *Маковецкий Д. Н.* (1973). Спин-фононное взаимодействие в рубине при низких температурах // Физика твердого тела. — Т. 15, вып. 8. — С. 2447–2453.

78. *Гарибян Т. А.*, *Григорян Г. Л.*, *Манташян А. А.*, *Налбандян А. Б.* К изучению механизма фотохимического окисления углеводородов в газовой фазе методом ЭПР // ДАН СССР. — 1967. — Т. 176, №4. — С. 866–868.

79. *Гарибян Т. А.*, *Манташян А. А.*, *Налбандян А. Б.* Применение метода ЭПР для изучения медленных газофазных реакций // ДАН СССР. — 1969. — Т. 186, №5. — С. 1114–1115.

80. *Гарифьянов Н. С.* Парамагнитный резонанс в щелочных металлах // ЖЭТФ. — 1957. — 32(1). — С. 149.

81. *Гарифьянов Н. С.*, *Козырев Б. М.* О влиянии кислорода на парамагнитное резонансное поглощение в α-дифенил-β-пикрилгидразиле // ДАН СССР. — 1958. — Т. 118, №4. — С. 738–739

82. *Гарифьянов Н. С.*, *Стариков М. А.* Электронный парамагнитный резонанс в сплавах щелочных металлах // ЖЭТФ. — 1959. — 35(3). — С. 798–799.

83. *Гарифьянов Н. С.*, *Каменев С. Е.*, *Овчинников И. В.* Исследование методом ЭПР дитиофосфатных, дитиокарбаматных и ксантогенатных комплексов Cr (V), Mo (V) и W (V) // Теоретическая и экспериментальная химия. — 1967. — Т. 3, вып. 5. — С. 661–670.

84. *Гвоздовер С.Д., Магазаник А.А.* (1950) Изучение парамагнетизма атомных ядер методом магнито-спинового резонанса // ЖЭТФ. — 20. — С. 701–705.

85. *Гершензон Ю.М., Розенштейн В.Б., Налбандян А.Б.* Магнитный резонанс в газах // Изд-во АН АрмССР, Ереван. — 1987.

86. *Голенищев-Кутузов В.А.* Нерезонансное парамагнитное поглощение звука в хромокалиевых квасцах // ЖЭТФ. — 1963. — Т. 44, вып. 1. — С. 63–64.

87. *Голенищев-Кутузов В.А., Копвиллем У.Х., Нагибаров В.Р.* Генерация ультразвука при помощи ядерной спин-системы // Письма в ЖЭТФ. — 1968. — Т. 8, вып. 9. — С. 445.

88. *Голенищев-Кутузов В.А., Копвилллем У.Х., Шамуков Н.А.* Двойной электронно-ядерный магнито-акустический резонанс и взаимодействие Cr^{3+}–27Al в рубине // Письма в ЖЭТФ. — 1969. — 10. — С. 240.

89. *Гольданский В.И., Зусман Р.И., Молин Ю.Н., Шантарович В.П.* Взаимодействие позитрония с ионами Fe^{3+} и Co^{2+} в спиртовых растворителях // Доклады Академии наук СССР. — 1969. — Т. 188, №5. — С. 1079–1081.

90. *Гречишкин В.С.* Нестационарные явления в ядерном магнитном резонансе // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34, вып.4. — С. 902–907.

91. *Гречишкин В.С., Айбиндер Н.Е.* Квадрупольные эффекты в спектре ядерного резонанса в монокристаллах мочевины и тиосульфата натрия // Физика твердого тела. — 1961. — Т. 3, вып.6. — С. 1821–1826.

92. *Гречишкин В.С., Сойфер Г.Б.* Температурная зависимость частот ядер квадрупольного резонанса в некоторых кристаллах // Журнал структурной химии. — 1962. — Т. 3, №3. — С. 337–339.

93. *Гринберг О.Я., Дубинский А.А., Лебедев Я.С.* Электронный парамагнитный резонанс свободных радикалов в двухмиллиметровом диапазоне длин волн // Успехи химии. — 1983. — Т. 52, №9. — С. 1490–1513.

94. *Гущин С.И., Шишкин В.А., Дерендяев Б.Г.* Установка для наблюдения квадрупольного спинового эхо в диапазоне частот 150–300 Мгц // Приборы и техника эксперимента. — 1967. — №5. — С. 195–197.

95. *Дейген М.Ф., Жеру И.И.* Двойной электронно-ядерный резонанс // ФТТ. — 1967. — Т. 9. — С. 1679. — № 9. — С. 2611–2618.

96. *Декабрун Л.Л., Пурмаль А.П.* Индикация радикалов ядерно-резонансным методом // ДАН СССР. — 1957. — Т. 116, №6. — С. 983–985.

97. *Декабрун Л.Л., Кильянов Ю.Н.* Постоянные магниты для ядерной магнитно-резонансной спектроскопии высокого разрешения // Приборы и техника эксперимента. — 1975. — №4. — С. 186–188.

98. *Дзизенко А.К., Заев Е.Е., Еляков Г.Б., Молин Ю.Н., Воеводский В.В.* ЯМР-спектры генинов гликозидов женьшеня (Panax ginseng C.A. Mey) // Доклады Академии наук СССР. — 1964. — Т. 156, №1. — С. 92–94.

99. *Дорфман Я. Г.* (1947) Атомные магнитные моменты в конденсированных фазах // Известия АН СССР. Серия физическая. — Т. XI, № 6. — С. 598–606.
100. *Емельянова Е. Н., Карлов Н. В., Маненков А. А., Миляев В. А., Прохоров А. М., Смирнов С. П., Ширков А. В.* Спектр ЭПР и спин-решеточная релаксация ионов хрома и железа в монокристаллах вольфрамата цинка // ЖЭТФ. — 1963. — Т. 44, № 3. — С. 868–869.
101. *Ермолаев В. К., Молин Ю. Н., Бубен Н. Я.* Рекомбинация радикалов в твердых органических веществах. I. Исследование методом размораживания // Кинетика и катализ. — 1962. — Т. 3, № 1. — С. 58–64.
102. *Жаботинский М. Е.* Радиоспектроскопия и строение молекул // Успехи химии. — 1955. — Т. 24. — С. 730–758.
103. *Жаботинский М. Е., Мефёд А. Е., Родак М. И.* Единый ядерный спин-спиновый резервуар в кристаллах с несколькими сортами ядерных спинов // ЖЭТФ. — 1971. — Т. 61, вып. 5(11). — С. 1917–1927.
104. *Жидомиров Г. М., Салихов К. М.* (1968). Модуляционные эффекты спинового эха свободных радикалов // Теоретическая и экспериментальная химия. — Т. 4, вып. 4. — С. 514–519.
105. *Житников Р. А., Колесников Н. В., Косяков В. И.* Парамагнитный резонанс в свободных атомах серебра, захваченных в неполярных средах при 77 К //Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 1962. — Т. 43, № 4. — С. 1186–1196.
106. *Жихарев В. А., Староверов А. П., Таланов Ю. И., Черкасов Ф. Г., Чернов С. Ф.* Исследование спин-решеточной релаксации электронов в малых частицах серебра методом спинового эха // ФТТ. — 1987. — 29(6). — С. 1706–1712.
107. *Забродин В. А., Соловьев В. Е., Гальперин Л. Н.* Синтезирование частот для спектрометра ЯМДР от одного источника // ПТЭ. — 1971. — № 3. — С. 128.
108. *Заев Е. Е., Молин Ю. Н., Жидомиров Г. М., Воеводский В. В.* О соответствии закономерностей делокализации спиновой плотности из данных по ЭПР радикалов и ЯМР молекул и комплексов парамагнитных ионов // Доклады Академии наук СССР. — 1967. — Т. 173, № 6. — С. 1370–1373.
109. *Замалеев И. Г., Кессель А. Р., Тейтельбаум Г. Б., Харахашьян Э. Г.* Форма линии парамагнитного резонанса электронов проводимости в металлических слоях // Физика металлов и металловедение. — 1972. — Т. 34(1). — С. 16–20.
110. *Замалеев И. Г., Харахашьян Э. Г.* Спиновая релаксация электронов проводимости при произвольной величине вероятности рассеяния на поверхности металла // Письма в ЖЭТФ. — 1978. — 27(12). — С. 677–680.

111. *Замараев К. И.*, *Молин Ю. Н.*, *Скубневская Г. И., Замараев К. И.* Исследование методом ЯМР конформации этилендиаминовых комплексов никеля в водном растворе // Журнал структурной химии. — 1966. — Т. 7, № 5. — С. 798–800.

112. *Захаров Ю.* Он услышал голос атома // Красноярский рабочий. — 2001. — 9 июня. http://www.krasrab.com/archive/2001/06/09/17/view_article

113. *Зверев Г. М.*, *Прохоров А. М.* Электронный парамагнитный резонанс иона V^{3+} в корунде // ЖЭТФ. — 1958. — 34(4). — С. 1023–1024.

114. *Зверев Г. М.*, *Прохоров А. М.* Электронный парамагнитный резонанс и спин-решеточная релаксация иона Co^{2+} в корунде // ЖЭТФ. — 1960. — 39(1). — С. 57–63.

115. *Зверев Г. М.*, *Карлов Н. В.*, *Корниенко Л. С.*, *Маненков А. А.*, *Прохоров А. М.* Применение парамагнитных кристаллов в квантовой электронике // Успехи физических наук. — 1962. — Т. 77, № 5. — С. 61–108.

116. *Зеер Э. П.* Лундин Арнольд Геннадиевич // Ученики и соратники Л.В. Киренского. На сайте ИФ им. Л. В. Киренского СО РАН. 2015. http://kirensky.ru/ru/history/team/lag

117. *Зеленин В. П.*, *Кушков В. А.* Устройство для записи сигналов спинового эхо // Радиоспектроскопия. — Пермь. 1969. — Сб. 6. — С. 209–217.

118. *Зеленин В. П.*, *Субботин Г. И.* Использование ЭПР спектрометра РЭ-1301 с накапливающим сумматором спектров. // Приборы и техника эксперимента. — 1967. — Сб. 3. — С. 106–107.

119. *Зобов В. Е.*, *Москвич Ю. Н.*, *Суховский А. А.*, *Доценко Г. И.* Влияние молекулярной подвижности на затухание многократных эхо в твердом теле // В сб.: Радиоспектроскопия твердого тела. — Красноярск, 1976. — № 2. — С. 16.

120. Известия АН СССР (1947а). Серия физическая. Т. XI. № 2.

121. Известия АН СССР (1947б). Серия физическая. Т. XI. № 3–4.

122. Известия АН СССР (1947в). Серия физическая. Т. XI. № 5–6.

123. *Икрина М. А.*, *Ильясов А. В.*, *Козырев Б. М.*, *Матевосян Р. О.*, *Рыжманов Ю. М.*, *Яблоков Ю. В.* Сверхтонкая структура спектров э.п.р. α,α-дифенил-β-трифенилметилгидразила и его производных // ДАН СССР. — 1962. — Т. 147, № 3. — С. 618–621.

124. *Ильясов А. В.* Влияние растворителя на спектр электронного парамагнитного резонанса некоторых свободных радикалов // Журнал структурной химии. — 1962. — Т. 3, № 1. — С. 95–97.

125. *Ильясов А. В.*, *Каргин Ю. М.*, *Левин Я. А.*, *Морозова И. Д.*, *Сотникова Н. Н.*, *Иванова В. Х.*, *Сафин Р. Т.* Электрохимически генерированные свободные радикалы. Сообщение 1. Восстановление производных

карбоновых кислот // Известия Академии наук СССР. Серия химическая. — 1968. — №4. — С. 736–739.

126. *Иоффе А. Ф.* (1947). Советская физика за 30 лет // Известия АН СССР. Серия физическая. — Т. XI, №6. — С. 581–590.

127. *Кадыров Д. И.*, *Шапошников И. Г.* Динамика магнитного момента парамагнетика // ФММ. — 1970. — Т. 29, вып. 1. — С. 58–80.

128. *Казакова В. М.*, *Сыркин Я. К.* Спектры электронного парамагнитного резонанса некоторых ароматических и алифатических металлкетилов в растворах // ДАН СССР. — 1960. — Т. 133, №1. — С. 112–114.

129. *Казанский В. Б.*, *Парийский Г. Б.*, *Воеводский В. В.* Изучение свойств атомов водорода, адсорбированных на поверхности селикагеля, методом электронного парамагнитного резонанса // Кинетика и катализ. — 1960. — Т. 1, №4. — С. 539–541.

130. *Казанский В. Б.*, *Ежкова З. И.*, *Любарский А. Г.*, *Воеводский В. В.*, *Иоффе И. И.* Изучение структуры окисных ванадий-молибденовых катализаторов методом ЭПР // Кинетика и катализ. — 1961. — Т. 2. — С. 862–866.

131. *Казанский В. Б.*, *Никитина О. В.*, *Парийский Г. Б.*, *Киселев В. Ф.* Изучение методом э.п.р. радикальной формы адсорбции молекулярного кислорода на восстановленной двуокиси титана // ДАН СССР. — 1963. — Т. 151, №2. — С. 369–372.

132. *Кастлер А.* К вопросу о предыстории открытия электронного парамагнитного резонанса. В сб.: Парамагнитный резонанс (1944–1969). — М.: Наука, 1971. — С. 14.

133. *Кессених А. В.* Наш «Lühike jalg» в Европу // В сб.: В. П. Визгин, А. В. Кессених (сост. и ред.) Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы. Вып. 2. — СПб.: Издательство РХГА, 2007. — С. 574–578.

134. *Кессених А. В.* Из истории химической радиоспектроскопии ЯМР в Советском Союзе (воспоминания, документы, материалы) // Вопросы истории естествознания и техники. — 2014. — №1. — С. 119–141.

135. *Кессених А. В.*, *Марколия А. А.* (2018). Метод ядерного магнитного резонанса в Сухумском физико-техническом институте (1949–1959) // Вопросы истории естествознания и техники. — 39(1). — С. 27–37.

136. *Киселев А. Г.*, *Мокульский М. А.*, *Лазуркин Ю. С.* Анизотропия сверхтонкого расщепления в спектрах электронного парамагнитного резонанса облученных ориентированных полимеров // Высокомолекулярные соединения. — 1960. — Т. 2, №11. — С. 1678–1687.

137. *Козырев Б. М.*, *Овчинников И. В.* ЭПР координационных соединений в жидких кристаллах // В сб.: А.М. Прохоров (гл. ред.). Проблемы магнитного резонанса. — М.: Наука, 1978. — С. 49–65.

138. *Козырев Б.М.*, *Салихов С.Г.* Парамагнитная релаксация в пентафенилциклопентадиениле // ДАН СССР. — 1947. — Т. 58, №6. — С. 1023–1025.

139. *Козырев Б.М.*, *Яблоков Ю.В.*, *Матевосян Р.О.*, *Икрина М.А.*, *Ильясов А.В.*, *Рыжманов Ю.М.*, *Сташков Л.И.*, *Шатруков Л.Ф.* Электронный парамагнитный резонанс замещенных дифенилпикрилгидразила // Оптика и спектроскопия. — 1963. — Т. 15. — С. 625–635.

140. *Кокин А.А.*, *Изместьев А.А.* О влиянии адсорбированного вещества на форму линии магнитного резонанса // Теоретическая и экспериментальная химия. — 1965. — Т. 1, №2. — С. 242–248.

141. *Колоскова Н.Г.*, *Копвиллем У.Х.* Форма линии ядерного акустического резонанса // ЖЭТФ. — 1960. — Т. 38, вып. 4. — С. 1351–1353.

142. *Кондорский Е.И.*, *Смольков Н.А.* (1953). Ферромагнитный резонанс никель-цинковых ферритов // ДАН СССР. — 93. — С. 237–240.

143. *Кочелаев Б.И.* К теории спин-решеточной релаксации ядерных спинов в ионных кристаллах // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 37, №1. — С. 242–248.

144. *Кочелаев Б.И.* Антиферромагнетизм, обусловленный спин-фононным взаимодействием // ЖЭТФ. — 1963. — Т. 44, №1. — С. 235–239.

145. *Курушин А.И.* Парамагнитное поглощение и вращение плоскости поляризации для некоторых солей в микроволновом диапазоне // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 37, вып. 1. — С. 297–298.

146. *Лагодзинская Г.В.* Медленная инверсия и спектры ПМР производных изоксазолидина // Журнал структурной химии. — 1970. — Т. 11, №1. — С. 31–37.

147. *Лебедев Я.С.*, *Черникова Д.М.*, *Тихомирова Н.Н.* (сост.). Атлас спектров электронного парамагнитного резонанса. Вып. 1: Теоретически рассчитанные многокомпонентные симметричные спектры / Отв. ред. Я.С. Лебедев, В.В. Воеводский. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. — 230 с.

148. *Лебедев Я.С.*, *Цветков Ю.Д.*, *Воеводский В.В.* Исследование реакций свободных радикалов в облученном политетрафторэтилене. V. Обсуждение механизма реакций // Высокомолекулярные соединения. — 1963. — Т. 5, №11. — С. 1608–1614.

149. *Лебедев Я.С.*, *Тихомирова Н.Н.* (сост.). Атлас спектров электронного парамагнитного резонанса. Вып. 2. — Теоретически рассчитанные симметричные спектры со сложной сверхтонкой структурой / Отв. ред. Я.С. Лебедев, В.В. Воеводский. — М.: Наука, 1964. — 198 с.

150. *Лебедева Л.И.*, *Ермолаев В.К.*, *Керкис Ю.Я.* Эффект хранения облученных семян гороха при температуре –196 °C // Докл. АН СССР. — 1966. — Т. 169, №6. — С. 1449–1451.

151. *Липпмаа Э.* Ядерный магнитно-резонансный спектрометр высокой разрешающей силы со спиновой стабилизацией // Труды Таллинского

политехнического института. Сер. А (Сборник статей по химии и химической технологии. VIII). — 1962. — №195. — С. 65–78.

152. *Лихтенштейн Г.И.* (1968). Определение расстояния между функциональными белковыми и другими группами // Молекулярная биология. — 2. — С. 234–240. (Likhtenshtein G.I. (1968) Determination of the topography of proteins group using specific paramagnetic labels // Mol. Biol. — 2. — P. 234–240.)

153. *Лихтенштейн Г.И.* Берег этот и тот. Ч. 1. — 2000. — С. 247.

154. *Лундин А.Г.*, *Михайлов Г.М.*, *Габуда С.П.* О поведении кристаллизационной воды в сегнетоэлектрике $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ // ДАН СССР. — 1961. — Т. 136, №4. — С. 864–867.

155. *Лундин А.Г.*, *Габуда С.П.*, *Зеер Э.П.* Микроскопический механизм спонтанной поляризации в сегнетоэлектрическом семействе ферроцианида калия // Письма в ЖЭТФ. — 1969. — Т. 9, №7. — С. 432–435.

156. *Лундин А.Г.*, *Сергеев Н.А.*, *Фалалеев О.В.* Метод моментов в ЯМР твердого тела // В сб.: А.М. Прохоров (гл. ред.). Проблемы магнитного резонанса. — М.: Наука, 1978. — С. 226.

157. *Маненков А.А.*, *Прохоров А.М.* Тонкая структура спектра парамагнитного резонанса иона Cr^{3+} в хромовом корунде // ЖЭТФ. — 1955. — 28(6). — С. 762.

158. *Мащенко А.И.*, *Шарапов В.М.*, *Казанский В.Б.*, *Киселев В.Ф.* Возникновение сигналов ЭПР при низкотемпературной адсорбции газов на восстановленном рутиле (TiO_2) // Теор. эксперим. хим. — 1965. — Т. 1, №2. — С. 381–386.

159. *Мефёд А.Е.*, *Родак М.И.* Экспериментальное исследование проявлений ядерного спин-спинового резервуара в ЯМР // ЖЭТФ. — 1970. — Т. 59, вып. 2(8). — С. 404–413.

160. *Михайлов Г.М.*, *Лундин А.Г.*, *Габуда С.П.*, *Александров К.С.* Протонный магнитный резонанс в селеномочевине // ДАН СССР. — 1961. — Т. 141, №6. — С. 1406–1408.

161. *Москвич Ю.Н.*, *Суховский А.А.*, *Сорокин А.В.*, *Лундин А.Г.* Исследование сегнетоэлектрического фазового перехода в триглицинселенате методом ямр высокого разрешения ^{77}Se // Физика твердого тела. — 1980. — Т. 22, №1. — С. 232–235.

162. *Молин Ю.Н.*, *Корицкий А.Т.*, *Бубен Н.Я.*, *Воеводский В.В.* Исследование свободных радикалов, образующихся в твердых телах в процессе облучения быстрыми электронами // Доклады Академии наук СССР. — 1958. — Т. 123, №5. — С. 882–883.

163. *Молин Ю.Н.*, *Чхеидзе И.И.*, *Бубен Н.Я.*, *Воеводский В.В.* Исследование методом ЭПР передачи энергии к ароматическим группам при радиолизе некоторых органических соединений // Кинетика и катализ. — 1961. — Т. 2, №2. — С. 192–196.

164. *Молин Ю. Н.*, *Беккер Ж. М.* Изучение взаимодействия т-РНК с ионами Mn^{2+} при тепловой денатурации методом протонной релаксации // Биофизика. — 1967. — Т. 12, № 2. — С. 337–338.

165. *Морковина Н. П.*, *Тетерина И. Б.* (сост.). Труды ученых Пермского университета (1916–2015). Физический факультет. — Пермь, 2016. https://elis.psu.ru/node/384316

166. *Морозов А. А.*, *Мельников А. В.*, *Скрипов Ф. И.* Методика свободной ядерной индукции в слабых магнитных полях в применении к некоторым задачам радиоспектроскопии высокой разрешающей силы // Известия АН СССР. — 1958. — Т. 22. — С. 1141.

167. *Морозова И. Д.*, *Дяткина М. Е.* Распределение спиновой плотности в некоторых металлкетилах // ДАН СССР, 1962. — Т. 146, № 4. — С. 830–832.

168. *Налбандян А. Б.*, *Воеводский В. В.* Механизм окисления и горения водорода. — Москва–Ленинград: АН СССР, 1949. — 180 с.

169. *Налбандян А. Б.*, *Азатян В. В.*, *Акопян Л. А.* Обнаружение свободных атомов водорода, кислорода и дейтерия в разреженных пламенах и окиси углерода методом ЭПР // Доклады АН Армянской ССР. — 1962. — Т. 35, № 3. — С. 123.

170. *Налбандян А. Б.*, *Манташян А. А.* Элементарные процессы в медленных газофазных реакциях // Изд-во АН Арм. ССР, Ереван. — 1975.

171. *Овчинников И. В.*, *Галяметдинов Ю. Г.*, *Иванова Г. И.*, *Ягфарова Л. М.* Жидкокристаллические комплексы оснований Шиффа с медью // ДАН СССР. — 1984. — Т. 276, № 1. — С. 126–128.

172. *Овчинников И. В.*, *Бикчантаев И. Г.*, *Галяметдинов Ю. Г.* Парамагнитные жидкокристаллические металлокомплексы / Радиоспектроскопия конденсированных сред. — М.: Наука, 1990. — С. 61–90.

173. *Овчинников И. В.*, *Галяметдинов Ю. Г.* Магнитные жидкие кристаллы на основе координационных соединений / Российский химический журнал им. Д. И. Менделеева. — 2001. — XLV, № 3. — С. 74–79.

174. *Островский М. А.*, *Каюшин Л. П.* Изучение электронного парамагнитного резонанса в сетчатке при действии света // ДАН СССР. — 1963. — Т. 151. — С. 986–988.

175. *Островский М. А.* Обратимое изменение сигналов эпр пигментного эпителия глаза под действием видимого света // Труды Московского общества испытателей природы. — 1966. — Т. 16. — С. 275–279.

176. *Островский М. А.* Фотореактивность пигментного эпителия глаза // В сб.: Физиология зрения в нормальных и экстремальных условиях. — Л.: Наука, 1969. — С. 110–113.

177. *Панфилов В. Н.*, *Цветков Ю. Д.*, *Воеводский В. В.* Обнаружение атомов водорода в разреженном пламени водорода методом ЭПР // Кинетика и катализ. — 1960. — Т. 1, № 2. — С. 333.

178. *Панфилов В. Н.*, *Воеводский В. В.* Исследование реакций взаимодействия атомов водорода с молекулами некоторых соединений в зоне разреженного пламени водорода / // Кинетика и катализ. — 1965. — Т. 6, №4. — С. 577–584.

179. Парамагнитный резонанс: Докл. на совещании по парамагнитному резонансу (Казань, 1–5 июня 1959 г.) / Под ред. С. А. Альтшулера, В. М. Козырева. — Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1960. — 210 с.

180. Парамагнитный резонанс. Казанская школа радиоспектроскопии. 1944–1971 (1975) / Под ред. А. В. Митина — М.: Атомиздат.

181. План научно-исследовательских работ Академии наук Союза ССР на 1946 г. — М.–Л.: АН СССР, 1945. — С. 41–42.

182. *Птушенко В. В.* Зарождение цепи // Вестник РАН. — 2018 (в печати).

183. *Разумова Л. Л.*, *Каюшин Л. П.*, *Гун Т. С.*, *Пулатова М. К.* Исследование разлных структурных форм белка миозина методом электронного парамагнитного резонанса // ДАН СССР. — 1962. — Т. 146, №5. — С. 1197–1200.

184. *Райцимринг А. М.*, *Цветков Ю. Д.*, *Жидомиров Г. М.*, *Хмелинский В. Е.*, *Семенов А. Г.* Изучение спинового эха свободных радикалов в твердых матрицах // ДАН СССР. — 1967. — Т. 172, №4. — С. 895–898.

185. *Реутов О. А.*, *Шаткина Т. Н.*, *Липпмаа Э. Т.*, *Пехк Т. И.* Новый метод исследования молекулярных перегруппировок с помощью ЯМР-спектрометрии углерода-13 // ДАН СССР, 1968. — Т. 181, №6. — С. 1400–1402.

186. *Рихирева Г. Т.*, *Умрихина А. В.*, *Каюшин Л. П.*, *Красновский А. А.* Образование свободнорадикальных состояний при процессах дыхания и фосфорилирования в митохондриях // Биофизика. — 1966. — №11. — С. 796.

187. *Рыжманов Ю. М.*, *Яблоков Ю. В.*, *Козырев Б. М.*, *Матевосян Р. О.*, *Сташков Л. И.* Изучение электронного парамагнитного резонанса в бирадикалах гидразинового ряда // ДАН СССР. — 1965. — Т. 164, №5. — С. 1073–1076.

188. *Сагдеев Р. З.*, *Молин Ю. Н.*, *Розанцев Э. Г.* Спектры ЯМР иминоксильных радикалов // Теоретическая и экспериментальная химия. — 1969. — Т. 5, №2. — С. 234–241.

189. *Салихов К. М.* К теории связанных состояний спиновых волн в одномерной решетке // Физика металлов и металловедение. — 1967. — Т. 24, №1. — С. 12–27.

190. *Санадзе Т. И.* Парамагнитный резонанс в нитрате неодима // ЖЭТФ. — 1957. — 33(4). — С. 1042–1043.

191. *Санадзе Т. И.*, *Хуцишвили Г. Р.* О запрещенных переходах и дискретном насыщении в линиях ЭПР // ЖЭТФ. — 1969. — 56(2). — P. 454–461.

192. *Самойлова Р.И., Андриевский В.Н., Цветков Ю.Д.* Внутримолекулярная передача энергии при низкотемпературном радиолизе диалкилсульфидов // Химия высоких энергий. — 1969. — Т. 3, №3. — С. 285–286.

193. *Сачян Г.А., Налбандян А.Б.* Обнаружение свободных атомов водорода и кислорода в разреженном пламени сероводорода с кислородом методом электронного парамагнитного резонанса // Изв. АН СССР, Сер. хим. — 1964. — №7. — С. 1340–1341.

194. *Семаков Б.С.* К вопросу о возникновении резонансных явлений в парамагнетике в параллельных полях // ДАН СССР. — 1959. — Т. 128, №4. — С. 706–708.

195. *Скрипов Ф.И.* Ядерно-резонансный генератор, работающий в магнитном поле Земли // ДАН СССР. — 1958. — Т. 121, №6. — С. 998–1000.

196. *Скроцкий Г.В., Курбатов Л.В.* К теории анизотропии ширины линии ферромагнитного резонансного поглощения // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 35, №1. — С. 216–220.

197. *Скроцкий Г.В., Кокин А.А.* К теории ядерного парамагнитного резонанса в жидкостях // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 36, №2. — С. 481–487.

198. *Скубневская Г.И., Салихов К.М., Смирнова Л.М., Молин Ю.Н.* Влияние релаксации электронного спина на обменное уширение линий ЭПР в разбавленных растворах // Кинетика и катализ. — 1970. — Т. 11, №4. — С. 888–892.

199. Список участников семинара П.Л. Капицы в ИФП 30 декабря 1944 г. Архив РАН, ф. 1943.

200. Стенограмма заседания Ученого совета Физического института Академии наук СССР от 30 января 1945 г. Архив РАН, ф. 532, оп. 1, д. 106.

201. *Сыркин Я.К., Дяткина М.Е.* (1947). Бирадикалы // Успехи химии. — 16. — С. 29–68.

202. *Таланов Ю.И., Черкасов Ф.Г., Чернов С.Ф., Харахашьян Э.Г.* Прямое наблюдение замораживания спин-решеточной релаксации электронов в малых металлических частицах. // Письма в ЖЭТФ. — 1986. — 43(7). — С. 337–338.

203. *Тартаковский В.А., Членов Е.И., Лагодзинская Г.В., Новиков С.С.* О-эфиры тринитрометана в реакции 1, 3-диполярного циклоприсоединения // ДАН СССР. — 1965. — Т. 161, №1. — С. 136–139.

204. *Теренин А.Н., Красновский А.А.* (1949) К вопросу о миграции энергии при биологических процессах // Успехи физических наук. — 37(1). — С. 65–73.

205. *Туров Е.А., Вонсовский С.В.* (1953) О ширине линии ферромагнитного резонансного поглощения // ЖЭТФ. — 24. — С. 501–502.

206. *Усатый А. Ф.*, *Панин В. И.*, *Пономарева-Степная М. А.*, *Молодов Л. А.* Локализация свободных радикалов в облученных аланин-глициновых пептидах // Химия высоких энергий. — 1968. — Т. 2, № 5. — С. 444–448.

207. *Усатый А. Ф.*, *Панин В. И.* (1973) Вторичные свободнорадикальные реакции в облученных замороженных водных растворах аминокислот и пептидов // Биофизика. — Т. 18, № 3. — С. 439–446.

208. *Устынюк Ю.* Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Часть 1 (вводный курс). — Litres, 2017.

209. *Фалалеев О. В.*, *Сергеев Н. А.*, *Лундин А. Г.* Симметрия кисталлов и ориентационная зависимость второго момента спектров ЯМР // Кристаллография. — 1974. — Т. 19, № 3. — С. 560–565.

210. *Федин Э. И.* Физические методы исследования строения молекул // Успехи физических наук. — 1958. — Т. 66, № 9. — С. 131–139.

211. *Федин Э. И.* Золотое клеймо неудачи (воспоминания о советском приборостроении ЯМР) // Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие гг. СПб.: РХГА. — 2007. — № 2. — С. 366.

212. *Хабибуллин Б. М.*, *Харахашьян Э. Г.* Парамагнитный резонанс на электронах проводимости в металлах // УФН. — 1973. — 111. — С. 483–505.

213. *Харахашьян Э. Г.*, *Черкасов Ф. Г.*, *Витол Я. А.*, *Кессель А. Р.*, *Юданов В. Ф.* Наблюдение спинового эха на электронах проводимости в металлическом литии // Письма в ЖЭТФ. — 1972. — 15(3). — С. 156–159.

214. *Хуцишвили Г. Р.* Тонкая структура ядерного магнитного резонансного поглощения // Успехи физичесих наук. — 1950. — 42(4). — С. 324–327.

215. *Хуцишвили Г. Р.* Об эффекте Оверхаузера в неметаллах // ЖЭТФ. — 1958. — 34(6). — С. 1653–1654.

216. *Хуцишвили Г. Р.* Об эффекте Оверхаузера в неметаллах. II // ЖЭТФ. — 1958. — 35(4). — С. 1031–1038.

217. *Цветков Ю. Д.*, *Воеводский В. В.*, *Разуваев Г. А.*, *Сорокин Ю. В.*, *Домрачев Г. А.* Электронный парамагнитный резонанс в некоторых хромароматических соединениях сандвичевского строения // Доклады Академии наук СССР. — 1957. — Т. 115, № 1. — С. 118–121.

218. *Цветков Ю. Д.*, *Лебедев Я. С.*, *Воеводский В. В.* Исследование реакций свободных радикалов в облученном политетрафторэтилене. I. Применение метода электронного парамагнитного резонанса для исследования превращений радикалов и определение коэффициента диффузии кислорода политетрафторэтилене // Высокомолекулярные соединения. — 1959. — Т. 1, № 10. — С. 1519–1525.

219. *Цветков Ю. Д.*, *Райцимринг А. М.*, *Жидомиров Г. М.*, *Салихов К. М.*, *Воеводский В. В.* Изучение распределения радикалов в облученных

органических матрицах методом электронного спинового эха // Химия высоких энергий. — 1968. — Т. 2, № 6. — С. 529–535.

220. *Цирульникова Л. М.*, *Шапошников И. Г.* К феноменологической теории комплексной парамагнитной восприимчивости монокристаллов // ФТТ. — 1964. — Т. 6, вып. 8. — С. 2322–2326.

221. *Черняк Н. Я.*, *Бубнов Н. Н.*, *Воеводский В. В.*, *Полак Л. С.*, *Цветков Ю. Д.* Об образовании свободных радикалов и атомов при радиолизе углеводородов при 77 °К // ДАН СССР. — 1958. — Т. 120, № 2. — С. 346–348.

222. *Чирков А. К.*, *Матевосян Р. О.* Парамагнитный резонанс в новых органических радикалах. // ЖЭТФ. — 1957. — 33. — С. 1053–1054.

223. *Шаповалова Л. А.*, *Брюховецкая Л. В.*, *Воеводский В. В.* О взаимосвязи каталитических и магнитных свойств геля Cr_2O_3 // Кинетика и катализ. — 1967. — Т. 8, № 6. — С. 1314–1318.

224. *Шапошников И. Г.* К термодинамической теории парамагнитного поглощения в слабых полях // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17, вып. 9. — С. 824–829.

225. *Шапошников И. Г.* К термодинамической теории спин-спиновой релаксации в парамагнетиках // ЖЭТФ. — 1948. — Т. 18, вып. 6. — С. 533–538.

226. *Шапошников И. Г.* К термодинамической теории парамагнитного поглощения в перпендикулярных полях // ЖЭТФ. — 1949. — Т. 19, вып. 3. — С. 225–230.

227. *Шапошников И. Г.*, *Кузнецов А. С.* К общей теории релаксационных явлений // Известия АН СССР. Сер. физическая. — 1956. — Т. 20, № 11. — С. 1258–1261.

228. *Шапошников И. Г.* О понятии времени спиновой релаксации в парамагнетиках // Известия АН СССР. Сер. физическая. — 1956. — Т. 20, № 11. — С. 1255–1257.

229. *Шутилов В. А.* Ядерный магнитный резонанс на ультразвуке. Обзор // Акустический журнал. — 1962. — Т. 8, вып. 4. — С. 383–406.

230. *Шутилов В. А.*, *Антокольский Г. Л.* (1967). Ультразвуковое возбуждение магнитных дипольных переходов ядер ^{19}F в монокристалле LiF // Физика твердого тела. — Т. 9, вып. 4. — С. 1231–1234.

231. *Шутилов В. А.*, *Антокольский Г. Л.* (1969). Об акустическом насыщении ядерных уровней в пьезоэлектрических кристаллах // Физика твердого тела. — Т. 11, вып. 6. — С. 1601–1603.

232. *Яблоков Ю. В.*, *Аблов А. В.* Электронный парамагнитный резонанс безводных медных солей монокарбоновых кислот // ДАН СССР. — 1962. — Т. 144, № 1. — С. 173–176.

233. *Яблоков Ю. В.*, *Воронкова В. К.*, *Мосина Л. В.* Парамагнитный резонанс обменных кластеров. — М.: Наука, 1988.

Приложение 1. Выборочный список докладов, представленных на заседаниях Американского физического общества в 1949 г.

Bickford L.R. (1949). Magnetic Resonanse Absorption in Magnetite as a Function of Temperature. Bulletin of the American Physical Society 24:26, H6.

Bitter F. (1949a). Magnetic resonance frequencies for several nuclei. Bulletin of the American Physical Society 24:59, W4.

Bitter F. (1949b). The optical detection of radiofrequency resonance. Bulletin of the American Physical Society 24:21, L1.

Bleaney B., *Ingram D.J.E.* (1949). Hyperfine structure of the paramagnetic resonance spectrum of cobalt. Bulletin of the American Physical Society 24:22, L5.

Bloch F., *Wangsness R.K.* (1949). The differential equations of nuclear induction. Bulletin of the American Physical Society 24:5, B2.

Bloembergen N. (1949). Fine structure of the proton magnetic resonance in $CuSO_4$ $5H_2O$. Bulletin of the American Physical Society 24:60, W5.

Gordy W., *Ring H.* (1949). Nuclear moments of B10 and B11. Bulletin of the American Physical Society 24:59, W3.

Hahn E.L. (1949). Spin echoes. Bulletin of the American Physical Society 24:13, G9.

Huntoon R.D., *Thomas H.A.* (1949). Amplitude bridge for nuclear resonance detection. Bulletin of the American Physical Society 24:7, A10.

Jeffries C.D. (1949). The magnetic moment of the proton in units of the nuclear magneton. Bulletin of the American Physical Society 24:6, B4.

Kikuchi C. (1949). Nuclear quadrupole effects in solids. Bulletin of the American Physical Society 24:13, G10.

Knight W.D. (1949). The effect of electronic paramagnetism on nuclear magnetic resonance frequencies in metals. Bulletin of the American Physical Society 24:13, G8.

Mann A.K., *Kusch P.* (1949). Futher data on the spin gyromagnetic ratio of the electron. Bulletin of the American Physical Society 24:7, A9.

Packard M.E. (1949). Nuclear induction apparatus for observing signals in gases. Bulletin of the American Physical Society 24:6, B9.

Proctor W.G., *Yu F.C.* (1949). A nuclear induction radiofrequency spectrometer. Bulletin of the American Physical Society 24:6, B6.

Purcell E.M. (1949). Progress in the study of nuclear magnetic resonance since the 1948 Symposium at Washington. Bulletin of the American Physical Society 24:7, A12.

Ramsey N.F. (1949). A new molecular beam magnetic resonance method. Bulletin of the American Physical Society 24:60, W7.

Richardson J.M. (1949). Quantum theory of ferromagnetic resonance. Bulletin of the American Physical Society 24:13, U9.

Sachs A.M., *Turner E.H.*, *Purcell E.M.* (1949). A study of internal motion in ammonium salts by nuclear spin-lattice relaxation time measurements. Bulletin of the American Physical Society 24:21, L3.

Slichter C.P., *Purcell E.M.* (1949). Measurements of spin-lattice relaxation times in paramagnetic solids by the saturation method. Bulletin of the American Physical Society 24:22, L4.

Taub H., *Kusch P.* (1949). The magnetic moment of the proton. Bulletin of the American Physical Society 24:60, W8.

Torrey H.C. (1949). A pulse method for nucler magnetic resonance. Bulletin of the American Physical Society 24:60, W6.

Turner E.H., *Sachs A.N.*, *Purcell E.M.* (1949). Some measurements of nuclear spin-lattice relaxation times in solids. Bulletin of the American Physical Society 24:21, L2.

Yager W.A., *Merritt F.R.*, *Holden A.N.*, *Kittel C.* (1949). Microwave magnetic resonance absorption in chrome alum at 1.25 cm. Bulletin of the American Physical Society 24:13, U8.

Zimmerman J.R., *Williams D.* (1949). Nuclear gyromagnetic ratios. Bulletin of the American Physical Society 24:7, A11.

Глава 4

Список избранных публикаций по теоретическим основам, исследованиям магнитного резонанса и их истории

Предварительный комментарий к списку литературы

Магнитный (парамагнитный) спиновый резонанс — вынужденное поглощение и излучение энергии, связанное с изменением ориентации спинов под действием магнитной компоненты переменного электромагнитного поля. Квантование энергии спиновых подуровней обусловлено взаимодействиями магнитных диполей и (или) электрических квадруполей электронных и ядерных спинов[1)] соответственно с внешними магнитными и (или) внутренними электрическими полями. На формирование спектров магнитного резонанса влияют и другие взаимодействия спинов, обусловленные свойствами вещества. Макроскопические явления магнитного резонанса связаны с прецессией суммарного магнитного момента вокруг поляризующего эффективного поля и воздействиями на эту прецессию переменного электромагнитного поля, локальных взаимодействий и тепловой релаксации спинового магнитного момента. Интересно рассмотреть основные вехи и приметы истории этого столь многоликого и в то же время единого направления современной физики, этого комплекса экспериментальных методов, играющего заметную роль в прогрессе естествознания (химии, биологии и даже геологии), а также в технике и медицине. Независимый интерес представляют и теоретические представления магнитного резонанса, тесно связанные со всем комплексом методов теоретической физики и химии. Сводка научных публикаций дает возможность проследить историю магнитного резонанса.

Историографическая направленность нашей работы требует хотя бы потенциальной возможности разумного структурирования ссылок по характеру, тематике, принадлежности к научным школам и т. д. Составленный нами список избранной литературы мы разбили по категориям,

[1)] У частиц со спином $S > 0$ существуют магнитные диполи, с $S \geq 1$ электрические квадруполи, со спинами $S \geq 2$ магнитные октуполи и т. д. Впрочем, вклад взаимодействий октуполей и других высших моментов в спин-решеточные взаимодействия и частоты магнитного резонанса очень мал [II. 1960. Копферман Х. Гл. 1. С. 15–20].

условно названным: «I. Историография» (включая воспоминания); «II. Обзоры и монографии»; «III. Интернет» (справочно-информационный материал) и «IV. Оригинальные статьи». Последнюю категорию мы разбили на несколько подразделов. Первый из них (IV.1) — сравнительно небольшой список работ по формированию основополагающих идей магнитного резонанса начиная с работы Дж. Лармора [IV.1. 1896. Larmor J.]; второй (IV.2) — работы по исследованию парамагнитной и ферромагнитной дисперсии и абсорбции начиная с работ В. А. Аркадьева [IV.2. 1913. Аркадьев В. К.] и Р. Ганса и Р. Лоярте [IV.2. 1921. Gans R.]; третий (IV.3) — работы по магнитному резонансу в молекулярных и атомных пучках начиная с известной работы И. Раби и др. [IV.3. 1938. Rabi I.1.]. Завершает этот раздел наибольший по объему список оригинальных работ по исследованию и применению различных магнитных резонансов в конденсированных средах (IV.4) начиная с пионерских работ Е. К. Завойского [IV.4. 1945. Zavoisky E. K.2.], Ф. Блоха и др. [IV.4. 1946. Bloch F.1], Э. Парселла и др. [IV.4. Purcell E.2]. Этот раздел снабжен алфавитным авторским указателем, в котором, впрочем, отмечены также обзоры и монографии (из раздела II), принадлежащие авторам оригинальных работ, включенным в указатель. Отдельные ссылки, выпадающие из намеченной структуры, но полезные для понимания истории и отчасти методологии магнитного резонанса, мы включаем преимущественно в раздел IV.4., реже в II (монографии, обзоры) и в другие разделы. В каждом разделе литература приводится в порядке года издания, а в списке за каждый год в алфавитном порядке по именам автора (названий сборника). При этом в списке сначала стоят иноязычные, а затем русскоязычные издания.

Ссылка на цитируемую работу в тексте комментария начинается с указания категории, к которой она относится в списке (с I. до IV.4). Далее указаны год издания и фамилия автора (если трудов с данным автором несколько — номер по порядку для данного автора в списке за этот год). Если соавторов много — приводится первый по списку, для сборников приводится название (часто сокращенное). Ссылки на веб-сайты даются по ключевым словам и основным адресам (Nobel archive, http://www.almaz.com/nobel/; ISMAR, http://www.ismar.org; Physical Review et other, https://journals.aps.org/about/prola; Journal of Magnetic Resonance, https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-magnetic-resonance/issues; JETP Letters, www.jetpletters.ac.ru/ps/archive.shtml и т. д.). Большинство страниц, на которые были ссылки в [I. 2006. *Кессених А. В.*], к сожалению, исчезли из Интернета, другие же естественным образом видоизменились. Значительное пополнение списка работ над публикацией мы получили из выставленной в Интернете библиографии С. Сикора [III. 2007. Sykora]. Когда оригинальная работа цитируется в тексте одной из предыдущих глав настоящего издания, это может быть указано в построчном примечании к списку.

Мы ориентировались прежде всего на русскоязычного читателя. Поэтому в тех случаях, когда у цитируемых монографий или обзоров имеется

русский перевод, первая ссылка располагается в списке по году издания иноязычного оригинала. Затем добавляется ссылка (или указание) на перевод. В случае когда имеется перевод русскоязычной монографии на иностранные языки, ссылка располагается в соответствии с годом выхода оригинала. Ссылки на переводы русскоязычных работ указаны только в примечании к ссылке на исходную публикацию. Возможно, читатель будет раздосадован тем, что примечания к ссылкам, помещенные непосредственно после этих ссылок, не оформлены единообразно. К сожалению, при столь большом числе и разнообразии ссылок и примечаний к ним сложно (да и не обязательно, на наш взгляд) найти единую систему оформления.

В библиографическом списке, как мы уже указали, присутствуют также отдельные работы, косвенно относящиеся к формированию идей магнитного резонанса. Таковы, например, монография Ван Флека о магнитной и электрической восприимчивости [II. 1932. Van Fleck J. ($^{+}$)], работа Р. Нойеса [IV.1. 1956. Noyes R. ($^{+}$)], важная для понимания диффузионного механизма отбора спиновых состояний в химических реакциях в жидкости, работы Ван Флека и Вайскопфа [IV.4 1945. Van Vleck J. H. ($^{+}$)] и Фрёлиха [IV.4. 1946. Fröhlich H. ($^{+}$)] об общих механизмах уширения спектральных линий и др. Сюда же относятся, например, связанные с тематикой магнитного резонанса лишь в историко-биографическом контексте ранние работы Е. К. Завойского [IV.2. 1932. Завойский Е. К.; IV.2. 1936. Завойский Е. К. 1.; IV.2. 1936. Завойский Е. К. 2. IV.4. 1945. Завойский Е. К. 1. (^{b})].

К числу смежных проблем (*) отнесены магнетомеханические резонансы, применяющиеся и как метод детектирования магнитных резонансов, и как метод подтверждения квантования магнитного потока, а также магнитный резонанс необычных (мюонных) атомов, мюония и позитрония. Итак, упомянутые выше ссылки не выделены в отдельную рубрику, а помечены соответствующими значками. Это «Дополнительная литература»: ($^{+}$), биографический материал: (^{b}), исторический материал: (^{hist}), в том числе материал важный лишь для истории развития магнитного резонанса в России: (^{histR}), смежные проблемы: (*). Краткие текстовые примечания к ссылкам на работы соответствуют возможным более детальным разработкам проблем истории магнитного резонанса. Примечания С. Сикоры (S.S.) мы добавляли к списку и в том случае, если наши выборы совпадали. Примечания возникают тогда, когда название работы не указывает на некоторые интересные обстоятельства постановки и выполнения работ, важные для историографии. Некоторые из них, важные по нашему мнению для зарубежного читателя, в том числе примечания, принадлежащие С. Сикоре, мы приводим не только в русском, но и в англоязычном варианте.

Некоторые объекты (вещества) играют в нашей науке роль «павловской собаки». Среди них, разумеется, вода и этанол (для протонного магнитного резонанса). Сюда же можно отнести, например, рубин (Cr^{3+} в Al_2O_3) для ЭПР и ЯМР, флюорит (CaF_2) для ЯМР в твердом теле и свободный

радикал α,α-дифенил-β-пикрилгидразил (сокращенно ДФПГ, англ. DPPH) в ЭПР. Иногда данные об объекте исследования выносятся в название работы или хотя бы в аннотацию, что позволит (в дальнейшем) в принципе составить предметный индекс, иногда мы включаем их в построчное примечание. Что касается интересовавшей нас проблемы «Имена магнитного резонанса», ее мы отчасти затронули с помощью составления авторского индекса к подразделу «Оригинальные статьи» IV.4.

Мы постарались отобрать из десятков тысяч несколько сот работ, которые дают представление о некоторых путях развития исследований в области магнитного резонанса. Авторам хотелось, чтобы этот вариант был вкладом в дальнейшее коллективное исследование по истории и библиографии магнитного резонанса.

Предварительное обсуждение избранных публикаций

I. Историография магнитных резонансов

Собственно исторических исследований по формированию идей и развитию приложений магнитного резонанса опубликовано не так уже много. В некоторое время в связи с чередой юбилейных дат (1994–1995–2004–2005 и т. д.) появились серьезные исследования. К их числу можно отнести книгу Б. И. Кочелаева и Ю. В. Яблокова [I. 1995. Kochelaev B. I.] и большую статью Э. Беккера и др. [I.а также II. 1996. Becker E. D.] в первом томе Encylopedia of NMR (Энциклопедия или ENMR [I. 1996. ENMR]). Период формирования идей магнитного резонанса, ставших неотъемлемой частью идей квантовой механики и квантовой статистики, волей-неволей нашел свое отражение в фундаментальной монографии М. Джеммера [I. 1985. Джеммер М.].

Юбилеи вызвают всплеск публикаций воспоминаний[1)]. Это воспоминания о людях магнитного резонанса и событиях его истории. В раздел «Историография» мы постарались включить все доступные нам публикации вплоть до подготовки последнего варианта нашей работы. К числу наиболее примечательных относятся воспоминания и материалы о Е. К. Завойском [I. 1994. «Чародей эксперимента»; I. 1996. Завойский В.К.; I.1996. «Материалы к биографии»; I.2007. Завойская Н. Е. История одного открытия. ООО «Группа ИДТ». 208 с.], С. А. Альтшулере [I. 2001. «С. А. Альтшулер»; I.2004. «С. А. Альтшулер»], Б. М. Козыреве [I. 2004. «Б. М. Козырев»]. Серьезный вклад в историографию магнитного резонанса вносят великолепные воспоминания А. Абрагама (в русском варианте «Время вспять, или Физик, физик, где ты был?» [I.1991. Абрагам А.]). Это также яркая серия воспоминаний об открытии и развитии идей и приложений ядерного магнитного резонанса в первом томе «Энциклопедии ЯМР» [I. 1996.

[1)] 1994 — пятидесятилетие открытия ЭПР; 1995 — пятидесятилетие открытия ЯМР и столетие теоремы Лармора и т. д.

Goldman M.; Lauterbur P.C.; Proctor W.G.; Waugh J.S. et al.][1]. Подготовку этой энциклопедии к печати возглавил уже упоминавшийся британский физик Э. Беккер. Он и его команда весьма лояльно отнеслись к вкладу ученых бывшего СССР в открытие и формирование идей и приложений ЯМР. Однако сами «ЯМРщики» бывшего СССР оказались не готовы к тому, чтобы своевременно и достойно представить в ENMR вклад отечественной науки в развитие ЯМР или, точнее говоря, историю ее интеграции в мировое ЯМР-сообщество. Однако запоздалые вклады см. в [I. 2001. Кессених.2; 2008. Кессених. 2009.]. Статьи Б.И. Кочелаева об открытии Е.К. Завойским ЭПР в 1944 г. (и неудавшемся, но вполне возможном открытии им ЯМР еще в 1941 г.) и статья известного российского специалиста профессора Н.М. Сергеева (химфак МГУ им. М.В. Ломоносова) об истории исследования изотопных эффектов в ЯМР [I. 1996. (ENMR). Sergeev N.M.], оказались единственными историческими материалами, поступившими в ENMR из России. Материалы по истории магнитного резонанса в бывшем СССР пополнились благодаря публикациям многочисленных воспоминаний и мемуарных эссе, а также обзорных статей в неформальном издании Ассоциации спектроскопистов ЯМР России «Новости ЯМР в письмах»[2] (см., например, [I. 1996. Федин Э.И.; I. 1997. Хачатуров А.С.; Бородин П.М.; I. 1998. Щербаков В.А.; I. 2008. Федин Э.И.]). Материалы юбилейных конференций по магнитному резонансу также частично отнесены к разряду «Историография». Такова прежде всего конференция 1969 г. в Казани [I. 1971. «Парамагнитный резонанс»], посвященная двадцатипятилетию открытия магнитного резонанса в конденсированных средах. На этой конференции Альтшулер с Козыревым [I. 1971. Альтшулер С.А.] впервые поведали драматическую историю первой попытки Завойского наблюдать ЯМР, о своем «неоткрытии» ЯМР и ЭПР рассказал К. Гортер [I. 1971. Гортер К.], наконец, лауреату Нобелевской премии А. Кастлеру

---

[1] К 50-летию открытия ЯМР, в 1995 г. в Великобритании под редакцией Беккера (E. Becker) было предпринято восьмитомное издание «Энциклопедии ЯМР» (Encyclopedia of NMR (ENMR)). Исторические статьи и воспоминания вошли в первый том Historical, Perspectives [I. 1996. ENMR . Vol. 1]. Издание оказалось весьма дорогим (3500 $ за все тома). Информационный центр ЯМР при ИОХ РАН, созданный по гранту РФФИ, воспользовавшись льготой для автора «Энциклопедии» профессора химического факультета МГУ и президента ассоциации спектроскопистов ЯМР (АСЯМР) Н.М. Сергеева и средствами от коммерческой деятельности лаборатории ЯМР ИОХ по скриннингу новых органических соединений (Б.И. Уграк, Ю.А. Стреленко), закупил по льготной цене (2800 $) единственный, насколько нам известно, в России комплект томов названной энциклопедии. В «Энциклопедии», кроме обзорных статей по тематике ЯМР, содержатся биографические справки о ее авторах, хронология и описание многих событий из истории ЯМР.

[2] Издавалась Ассоциацией спектроскопистов ЯМР России (АСЯМР) с 1990 г. С 1998 г. изданием руководил А.В. Аганов (Казань, КГУ). Выходило (1990–2011 гг.) от одного до четырех выпусков в год. Архив этого издания в некоторой части сохранен Агановым и его помощницей Н. Галиуллиной.

принадлежало вдохновенное вступительное слово на конференции [I. 1971. Кастлер А.], в котором он воздал должное первооткрывателю, его предшественникам и последователям. К этому же ряду можно отнести X юбилейную конференцию европейской группы AMPÈRE [I. 1962. “le groupement Ampère”]. Заметим, что публикации по материалам этих конференций, как и многие статьи ENMR, содержат, кроме собственно историографических, также (и по большей части) материалы, причисляемые к обзорным (переносятся в раздел «Обзоры» или дублируется в этом разделе), а также оригинальные публикации (некоторые из них см. в разделе «Оригинальные публикации»).

II. Обзоры и монографии

Концепция истории магнитного резонанса в более сжатом виде изложена в обзоре [II. Кессених А.В. 2009] в промежутке между публикацией первого варианта «Историографии и библиографии магнитного резонанса» [I. Кессених. 2005] и началом подготовки данной работы. В этом обзоре затронуты некоторые важные проблемы методологии изложения теории и описания эксперимента магнитного резонанса. Один из разделов обзора начинается со ссылки на фундаментальную монографию Х. Копфермана [II. Kopferman H.].

В этом обзоре обсуждены варианты записи условия магнитного резонанса $\omega = \gamma H$, или же $\omega = \gamma B$ (где H — напряженность магнитного поля, а B — индукция магнитного поля), с привлечением монографии Копфермана и фундаментального учебника Э. Парселла [II. E. Purcell]. После выхода (в серии Берклеевские лекции по физике) учебника Парселла почти все особенно англосаксонские авторы применяют запись $\omega = \gamma B$, тогда как в первых работах по магнитному резонансу писали всегда $\omega = \gamma H$. Истоки этого разночтения лежат в предпочтительном применении различных систем единиц в различные исторические периоды и различными авторами, что вкратце обсуждено в [II. 2009. Кессених.]. Парселл впервые включил в учебник по электричеству и магнетизму главу о магнитном резонансе.

Живая история первых шагов магнитного резонанса, его теории и методики почти в явном виде содержится в ранних (примерно до 1961 г. издания) монографиях и обзорах по ЯМР, ЭПР и другим магнитным резонансам. Наиболее ценными в этой части служат монография В. Горди и др. «Радиоспектроскопия» [II. 1955. Горди В.] с большой структурированной по тематике и хронологии библиографией, из которой около трети относится к спектроскопии магнитного резонанса, — одна из первых монографий по ЯМР «Ядерный магнитный резонанс» Э. Эндрю [II. 1957. Эндрю Э.] (библиография 508 ссылок), одна из первых монографий по ЭПР Альтшулера и Козырева [II. 1961. Альтшулер С.А.]. Большую, хронологически структурированную (хотя тематически не сфокусированную) библиографию содержит известная книга А. Лёше «Ядерная индукция» [II. 1957. Lösche A. (Kernindukzion)]. При этом русские переводчики

во главе с П.М. Бородиным и сам автор существенно пополнили эту библиографию в русскоязычном издании [II. 1963. Лёше А.]. Это издание вышло почти на семь лет позже немецкого оригинала (а тогда 7 лет составило примерно 35% всей истории публикаций по магнитному резонансу в конденсированных средах!).

И более поздние и даже специализированные монографии, как правило, содержат историческую компоненту. В качестве примеров можно привести монографию К. Джеффриса «Динамическая ориентация ядер» [II.] в русском переводе, объединенную с переводом несколько усеченного обзора А. Абрагама и М. Боргини [II. 1965. Джеффрис К.], объединенные в русском переводе монографии Ф. Меринга и У. Хеберлена «Ядерный магнитный резонанс высокого разрешения в твердом теле» [II. 1980. Хеберлен У.], монографию А.Л. Бучаченко, Р.З. Сагдеева и К.М. Салихова «Спиновые и магнитные эффекты в химических реакциях» [II. 1978. Бучаченко А.Л.] и переведенную на русский язык [II.Р. Эрнст. ЯМР в одном и двух измерениях. — М.: Мир, 1990. — 710 с.] и изданную под редакцией К.М. Салихова знаменитую монографию Р. Эрнста, Дж. Боденхаузена и А. Вокауна [R. Ernst, G. Bodenhausen, A. Wokaun. Principles of Nuclear Magnetic Resonance in One and Two Dimensions. Oxford. Clarendon Press. 1988. 610 p.].

Важную информацию о вкладе ведущих ученых содержат классические монографии А. Абрагама [II. 1963. Абрагам А.] (так называемая «библия ЯМР») и А. Абрагама и Б. Блини [II. 1972. Абрагам А.] («библия ЭПР»). Названные книги содержат также научно-историческую концепцию, позволяющую осознать пути формирования идей и методов магнитного резонанса, которой мы в значительной мере руководствуемся. Классическая монография Б. Блини и А. Абрагама «ЭПР соединений переходных металлов», при внимательном прочтении отдельных глав дает нить к выявлению истоков многих подходов, используемых в теории и методологии магнитного резонанса. Она содержит ссылки на основополагающие теоретические работы Ф. Хунда [IV.1. 1927. Hund F.], Х. Бете [IV.1. 1929. Bethe H.], Х. Крамерса [IV.1. 1930. Kramers H.A.], Дж. Ван Флека [IV.1. 1932. Van Vleck J.H.], Х. Яна–Э. Теллера [IV.1. 1937. Jahn H.A.] и др., заложившие основы теории ЭПР соединений переходных элементов.

Можно выделить условно два «предельных» типа монографий по признаку их «полезности» для исследователя истории науки. Первый тип снабжен обширной, по возможности исчерпывающей библиографией (рекорд, кажется, поставлен Альтшулером и Козыревым во втором издании «Электронного парамагнитного резонанса» [II. 1972. Альтшулер С.А.] — 2499 цитирований). Собственно говоря, именно выборка литературных ссылок из основополагающих монографий по магнитному резонансу составила основу данной публикации. Ярким представителем противоположного типа исторически эффективных монографий служит монография А. Абрагама «Ядерный магнетизм» [II. 1963. Абрагам А.]. Правда, она вышла (англоязычный оригинал) на 11 лет раньше книги Альтшулера

и Козырева в 1961 г., но вовсе не обилие работ в последующий период[1], а сам принцип цитирования сделал число ссылок у Абрагама на порядок меньше. Зато монография Абрагама содержит изложение предыстории динамических методов ядерного магнетизма, да и сама служит достаточно компактным документом истории и свидетельствует о состоянии учения о парамагнитном (в основном ядерном магнитном) резонансе и развитии его приложений к началу 1960-х гг.

В сущности, нет такой «приличной» монографии, которая бы тем или иным способом не могла бы сослужить пользу историку. Даже сам факт появления книг, «в энергичном директивно-рецептурном тоне»[2] излагающих технологию применения метода для тех или иных целей, свидетельствует о достижении определенного этапа в практическом приложении этого метода. Затруднение состоит в том, что написание истории современных направлений науки становится прежде всего делом самих специалистов данного направления, причем желательно участие хорошо организованного коллектива специалистов. Хочется отметить заслугу инициаторов и организаторов переводов иноязычных монографий на русский язык (они же были часто и редакторами перевода, что указывается в нашем списке). Перевод на русский язык издавался обычно через 2–4 года после выхода оригинала. В этой связи упомянем особо Г. В. Скроцкого, С. В. Вонсовского, а также В. Ф. Быстрова и А. Н. Шейнкера, К. М. Салихова. В редактировании некоторых важных переводов приняли участие С. А. Альтшулер и эстонский физик и химик Э. Липпмаа.

В заключение данного раздела еще раз остановимся на весьма ценных для исторической ретроспективы материалах сборников различных конференций (как бы они ни назывались: коллоквиумы, семинары, школы и т. п.) по исследуемой тематике. Из включенных в нашу библиографию сборников мы отметим материалы одной из первых в мире конференции по радиоспектроскопии (преимущественно по магнитному резонансу), имевшей место в сентябре 1950 г. в Амстердаме (Нидерланды) [II. 1951. “Proceedings of international conference…”], которые были опубликованы в Т. 17, №3/4 журнала Physica. На этой конференции держали речь будущие лауреаты Нобелевской премии за открытие ЯМР Ф. Блох и Э. Парселл. Там выступал с первыми сообщениями о своих работах, за которые он получит Нобелевскую премию через 16 лет, А. Кастлер. Маститый немецкий ученый Х. Копферман, еще до войны эмигрировавший в США, не поленился выступить с изложением работ своих молодых коллег из Геттингена Х. Демельта и Х. Крюгера, открывших ядерный квадрупольный резонанс [II. 1951. Kopferman H.]. Там же (уже вторично после выступления

[1] В первом издании «Электронного парамагнитного резонанса» [II.1961. Альтшулер С. А.] содержалось уже 1066 ссылок (1961 г.)!

[2] Выражение принадлежит редактору перевода Э. И. Федину (из его предисловия к [II. 1969. Байбл Р.]).

на съезде лондонского физического общества [II. 1948. “Proceedings of the physical society”]) отчитывались о бурном развитии метода ЭПР, открытого всего лишь шесть лет назад Е. К. Завойским, представители оксфордской школы под руководством Б. Блини. Два доклада сделали японские ученые (а ведь после окончания Второй мировой войны, в которой Япония была разгромлена, прошло ровно пять лет!). В то же время ни одному из советских ученых не удалось приехать на эту конференцию. Хотя ссылки на открытие Завойского звучали в докладах [II. 1951. Kastler A.; Gorter C.J.; Bleaney B.], сам Завойский в это время работал в Арзамасе-16 над советской атомной бомбой [I. 1998. Завойская Н. Е.]([b]). Публикация работ его небезуспешных продолжателей С. А. Альтшулера и Б. М. Козырева была неоправданно затруднена мнимыми соображениями секретности. Но главное состояло в панической боязни советских чиновников от науки (точнее, в жестком запрете свыше) контактов их подопечных с представителями зарубежной науки. В книге М. А. Блоха [I. 2001. Блох М. А. С. 260–261] сообщается об отказе 30 августа 1950 г. в поездке в Амстердам на Международную конференцию по радиоспектроскопии группе ученых, включающей А.М. Прохорова. Президиум АН СССР обратился в ЦК КПСС (№ИО-5621с.) с просьбой направить сроком с 18.09.50 по 23.09.50 в Амстердам (Нидерланды) на II Международную конференцию по радиоспектроскопии делегацию в составе академика Андронова А. А., Прохорова А. М, Владимирского К. В. и Ораевского П. С. (чиновника Президиума). На запрос Президиума 14.09.50 поступил отказ (записка М. А. Суслова и В. Григорьяна №25-с-1633). В указанном отказе речь уже шла только о Прохорове и Владимирском. Суть этого отказа — «состав предложенной делегации не отвечает предъявленным требованиям». «Предъявленные требования» очевидно вымышлены. М. А. Блох ссылается на РЦХИДНИ (ныне РГАСПИ), фонд 17, опись 119, ед.хр.65, л. 59–61. После такого вряд ли можно было ожидать номинирования советского ученого (Завойского) на Нобелевскую премию в области магнитного резонанса. Интересно сопоставление материалов конференции [II. 1951. “Proceedings of international conference…”] и советских публикаций тех лет (1944–1950 гг.). См., например, [IV.4. 1947. Завойский Е. К. 1.; Альтшулер С. А.; Владимирский К. В.; Козырев Б. М.]. Фактически советским ученым было с чем выступить на международной конференции, но им просто не дали. На важной конференции в Кембридже 4–6 апреля 1955 г. впервые присутствовали советские ученые Б. М. Козырев и А. М. Прохоров [II. 1955. Microwave and radiofrequency spectroscopy].

Обзорные статьи из материалов юбилейной конференции 1969 г. [II. 1971. «Парамагнитный резонанс»], материалов конференции фирмы Вариан [II. 1964. «ЯМР и ЭПР спектроскопия»] и некоторые другие позволяют пополнить историографию магнитного резонанса. Полезны обзорные статьи из специальных выпусков журнала Analytical Chemistry, выходившие регулярно раз в два года. Первой из них была [II. 1972. Corio P. L.].

Отметим также выпуски периодических изданий обзорных работ по ЯМР вроде упомянутых в ссылке [II. 1980. Хеберлен У.] англоязычных оригиналов, вышедших в сериях «Advances in magnetic resonance» (под ред. Дж. Уо) и «NMR basic principles and progress» (под ред. П. Дила и др.). Надеемся, что подобные обзоры будут в дальнейшем более широко «введены в оборот» и найдут свое место в историографии магнитного резонанса.

Известны отдельные сборники, содержащие специально подобранные материалы (ряд обзоров). Из них укажем на сборник памяти Б. М. Козырева, каждая из статей которого содержит весьма ценную библиографию [II. 1990. Радиоспектроскопия…].

Наконец, нельзя не отметить богатейший материал по ретроспективе развития магнитного резонанса, который можно извлечь из обзоров, публиковавшихся в подлинной летописи физической науки XX в. — журнале «Успехи физических наук»[1)], а отчасти в журнале «Успехи химии», например, [II. 1973. Слоним И. Я.; II. 1977. Сагдеев Р. З.] и др.

Для вхождения в смежные с магнитным резонансом проблемы, с которыми автор был практически не знаком (магнитный резонанс в мюонии, позитронии и мюонных атомах), мы отталкивались от статей в «Физической энциклопедии» [II. 1992. Гуревич И. И., Пономарёв Л. И. 1, 2. Фаустов Р. Н.]. Мы приводим ссылки и на некоторые другие статьи из «Физической энциклопедии».

Этот раздел стоит завершить замечанием, что рожденная как единое целое радиоспектроскопия магнитного резонанса не должна и ныне в историческом (а отчасти и в методологическом) аспекте категорически и окончательно расчленяться на ЯМР, ЭПР, ЯКР. Об этом говорят, например, рассмотренная нами ранее история эффекта Оверхаузера, история теории Провоторова, спиновых и магнитных эффектов в химических реакциях [II. 1978. Бучаченко А. Л.]. Пожалуй, в какой-то мере стоит особняком спектроскопия магнитного резонанса в магнитно-упорядоченных средах, но и здесь остаются общие для магнитного резонанса подходы как в теории, так и в эксперименте (см. [II. 1952. «Ферромагнитный резонанс»; II. 1961. «Ферромагнитный резонанс»; II. 1969. Туров Е. А.]).

И тем не менее дифференциация направлений магнитного резонанса (в особенности по применениям) в настоящее время зашла очень далеко. ЯМР высокого разрешения «в одном и двух измерениях» стал методом исследования химических соединений от самых простых, до сложнейших биополимеров [II. 1996. Wütrich K.; II. 1998. Doreleijers J. E.; I. 1998. Анаников В. П.]. ЭПР и ХПЯ объединились в интереснейшем направлении исследовании фотосинтеза. ЭПР и ЯМР — в направлении изучения механизма высокотемпературной сверхпроводимости [II. Berthier C. 1994;

[1)] См., например, [II. 1954. Гортер К.; II. 1959. Блюменфельд Л. А.; II. 1960. Хуцишвили Г. Р.; II. 1965. Хуцишвили Г. Р.; Эйткин М.; II. 1972. Ацаркин В. А.; II. 1973. Валиев К. А.; II. 1976. Показаньев В. Г.; II. 1978. Ацаркин В. А.; Корст Н. Н.; II. 1981. Ацаркин В. А.; II. 1987. Боровик-Романов С. А.] и др.

II. Brinkmann D. 1996]. Возникло и утвердилось в клинической практике благодетельное для человечества направление ядерно-магнитной томографии (или интроскопии) [II. 1981. Ацаркин В. А.; II. 1993. Магнитный резонанс в медицине]. Входит в практику исследований магнитно-резонансная силовая микроскопия. Самостоятельное значение приобрела динамическая поляризация ядер, обеспечивающая прорывы в применениях ЯМР высокого разрешения и ЯМР твердого тела.

III. Материалы Интернета стали в наше время неотъемлемой частью информационного поля для историко-научных исследований. Однако время жизни материала в Интернете ограничено. Поэтому мы вынуждены лишь вспоминать некоторые статьи, которые более недоступны. Примером серьезного исследования служила статья Ленуар Лекуйе, выставленная на сайте http://www.stanford.edu [III.Stanford. NMR at Varian]. Тема этого исследования, выполненного, как можно понять, в Стэнфордском университете к полувековому юбилею открытия ЯМР, — организация и развитие работ по ядерному магнитному резонансу на промышленной фирме «Вариан» (США). К сожалению, этот материал ныне устранен из Интернета. Фирма «Вариан» после кончины ее основателей ушла с рынка аппаратуры магнитного резонанса. С достижениями промышленной фирмы «Брукер–Спектроспин» (Германия–Швейцария) мы могли познакомиться из материалов статьи [I. 1996. Айхофф У.] и исторического очерка, любезно предоставленного нам представителем фирмы доктором Уве Айхоффом, на которые мы не могли выйти в Интернете. Чаще фирмы предпочитают размещать актуальную рекламу, ссылок на которую мы не приводим. Для историка науки XX в. особый интерес представляет роль научных подразделений частных и государственных компаний в развитии целых отраслей науки. И следует признать, что аналитические и исследовательские применения магнитного резонанса получили необычайно бурное развитие именно благодаря деятельности компании «Вариан», ныне сошедшей со сцены; занимающей ныне передовые позиции компании «Брукер»; отчасти компании «Джеол» (Япония).

Нет проблем получить необходимые сведения о биографических данных лауреатов Нобелевских премий на сайте Nobel prize winners archive [III. Nobel prize archive]. О других ученых, сыгравших важную роль в развитии идей и приложений магнитного резонанса, можно получить некоторые сведения из сайтов, принадлежащих международным объединениям специалистов по магнитному резонансу, например Международному объединению спектроскопистов ЭПР IES [III. IEPRS], Международному обществу магнитного резонанса ISMAR [III. ISMAR] и европейскому объединению AMPÈRE (или AMPERE) [III. AMPERE]. Последнее разночтение вызвано тем, что американизированная общественность заменила на цитируемом сайте первородное (1952 г. [I. 1996. ENMR]) может быть вычурное, но весьма остроумное франкоязычное сокращение Atomes et Molecules Par

Ètude Resonance Electromagnétique на формальное англоязычное Association of Microwave Power in Europe for Research and Education [III. AMPERE]. Ныне AMPERE чаще выступает как неотъемлемая часть солидной организации EUROMAR — European magnetic resonance (см. рис. 22, заимствованный с сайта EUROMAR; отметим, что он размещен и на сайте AMPERE).

Изучая на сайтах IES и ISMAR списки исследователей, удостоенных почетных наград этих международных сообществ, можно оценить труды каких ученых должны в дальнейшем пополнить наш, пока что далеко не совершенный список цитируемых работ. Приведем, например, такой важный факт. Среди почетных наград за труды в области ЭПР имеется и престижная премия им. Е. К. Завойского (в области ЯМР такой чести не удостоился ни один русский или советский исследователь). Среди отмеченных почетными наградами IES имеются такие российские специалисты в области ЭПР, как Л. А. Блюменфельд, А. И. Ванин, Я. С. Лебедев, Ю. Н. Молин, К. М. Салихов, Ю. Д. Цветков, а также грузинский физик Т. Санадзе. В области ЯМР премией AMPÈRE был в 1994 г. отмечен выдающийся эстонский физикохимик, один из пионеров химических приложений гетероядерного и твердотельного[1)] ЯМР в химии Э. Т. Липпмаа, который играл лидирующую роль в ЯМР-сообществе бывшего СССР и заметную роль в мировом научном сообществе.

Почетной наградой ISMAR был в свое время отмечен Е. К. Завойский (посмертно). Приводимые данные подтверждают тот факт, что относительный рейтинг советских исследователей в области ЭПР был заметно выше, чем в области ЯМР.

Рассматривая парадоксальную историю предсказания, исследования и применений так называемого «эффекта Оверхаузера» [I. 2004. Кессених 2.], мы ознакомились с несколькими сайтами, посвященными этому известному американскому физику, его подлинному вкладу в науку и обстоятельствами, при которых его имя оказалось в числе наиболее прославленных специалистов по магнитному резонансу, например, [III. Physics. Purdue; III. news. uns. Purdue]. В целом приходим к выводу, что по истории магнитного резонанса было бы целесообразно создать объединенную структурированную систему веб-сайтов, которая пока что отсутствует.

Примером такой системы служит упомянутый сайт Станислава Сикоры [III. Stan Sykora], посвященный библиографии ЯМР. Его материалы по возможности учтены в дополненном варианте публикации.

Материалы Интернета, однако, уже теперь служат незаменимым иконографическим источником и содержат иногда ценные иллюстрации по существу предмета.

[1)] Гетероядерный ЯМР — парамагнитный резонанс ядер (кроме протонов). Как правило, требует намного более высокой чувствительности и особых методов наблюдения. «Твердотельный» ЯМР требует специальных методов устранения взаимодействий, уширяющих линии резонанса (магнитное дипольное, электрическое квадрупольное).

Оригинальные статьи. IV.1. Работы, формировавшие основы магнитного резонанса

В монографии Абрагама [II. 1963. Абрагам А. Гл. 1] магистральный путь формирования идей магнитного резонанса на примере ЯМР излагается так: намагничивание (сортировка по магнитным состояниям) в пучке частиц [IV.1. 1933. Frisch R.; Esterman I.], намагничивание системы ялерных спинов в конденсированном веществе [IV.1. 1937. Lasarev B. G.], магнитный резонанс в пучке частиц [IV.1. 1938. Rabi I. I. 1.], магнитный резонанс в конденсированном веществе [IV.4. 1945. Завойский Е. К. 2.]. К этой безупречной схеме мы добавим некоторые вехи предыстории: гипотезу о наличии элементарных носителей магнетизма, так называемые молекулярные токи Ампера, о которых стало известно из его сообщений Парижской академии наук (см. [I. 1968. Белькинд Л. Д.]); теорему Лармора о гиромагнитных свойствах носителей магнетизма [IV.1. 1896. Larmor J.]; проявления эффекта Зеемана в оптических спектрах [IV.1. 1897. Zeeman P.]; утверждение гипотезы спина [IV.1. 1924. Pauli W.; IV.1. 1926. Uhlenbeck G. E.] и принятие квантовой [IV.1. 1927. Pauli W.] и квантово-статистической парадигмы [IV.1. 1927. Dennison D. M.] для трактовки магнитных эффектов. Это, так сказать, магистральный путь в широком смысле. Сюда же отнесены некоторые фундаментальные работы по принципиальным проблемам сверхтонкого взаимодействия электрона [IV.1. 1930. Fermi E.], магнитного момента ядра [IV.1.1934. Landé A.; Тамм И. Е.], магнитных свойств атомов, молекул и кристаллов (ссылки из [II. 1972. Абрагам А.] см. выше), спиновой температуры [IV.1.1939.Casimir H. B. G. и др.], описания магнитного резонанса в разных системах координат [IV.1.1938. Rabi I.; IV.1. 1940. Bloch F.] и др. Работы этого ряда вошли в рассматриваемый раздел. Заметим, что он может быть пополнен несколькими работами П. Кюри и П. Вейса, П. Ланжевена, А. Зоммерфельда. Значительно могут быть расширены вклады О. Штерна, А. Ланде (лишь отдельные их работы включены в наш список) и других ученых. В целом можно сказать, что этот подраздел содержит работы, принадлежащие по нашему разумению к классу «вех» или «верстовых столбов» истории науки (milestones).

IV.2. Магнитная дисперсия и абсорбция

Окончательное вступление на магистральный путь развития теории магнитного резонанса было обеспечено признанием и быстрым освоением квантовой парадигмы. Тем временем другие исследователи в рамках классической физики искали и находили обусловленные магнитными свойствами проявления аномальной дисперсии и абсорбции электромагнитных волн в ферромагнетиках. Первым на этот путь встали российский физик В. А. Аркадьев [IV.2. 1913. Аркадьев В. К.], затем аргентинский физик Р. Лоярте и его немецкий коллега Р. Ганс [IV.2. 1921. Gans R.]. Анализируя их результаты и не скрывая влияния работы Эйнштейна и Эренфеста [IV.1. 1922. Einstein A.], сблизить их эмпирический подход с зачаточной

тогда квантовой парадигмой попытался Я.Г. Дорфман [IV.2. 1923. Dorfmann J.]. Особое внимание к работам отечественных физиков, невзирая на их подлинное место в истории науки, привело отдельных советских историков к неоправданно высокой оценке этой все же весьма интересной работы о «фотомагнитном эффекте». Нельзя преуменьшать и вклада Аркадьева в магнитную радиоспектроскопию ферромагнетиков. Оказывается, у него в 1940-е–1950-е гг. были в СССР последователи, которые наблюдали магнитный резонанс в ферромагнетиках (ферримагнетиках) (см. цитируемую нами одну из работ сотрудника Центральной лаборатории по борьбе с индустриальными радиопомехами [IV.4. 1951. Фоменко Л. А.]).

Чувствительность экспериментальных методов росла. И в 1930-е гг. она позволила перейти к исследованию магнитной дисперсии и абсорбции не только в ферромагнетиках, но и в парамагнетиках. Это были работы школы Гортера [IV.4. 1936. Gorter C. J. 1–3]. При этом с 1936 г. особое внимание было уделено поиску магнитного резонанса в ядерных парамагнетиках[1)]. Большинство публикаций, включенных в рассматриваемый раздел, не внесли решающего вклада в науку. Зато они фиксируют переход в развитии методов магнитного резонанса от калориметрического метода к измерению поглощения электромагнитной энергии [IV.2. 1936. Gorter C. J. 2] к методу реакции генератора [IV.2. 1942. Gorter C. J.], аналогичному «методу сеточного тока» Завойского [IV.2. 1932. Завойский Е. К.]. Статьи раздела IV.2. относятся к разряду примет времени (time's features), а некоторые работы, в сущности, ничего не внесшие в развитие метода, стали притчей во языцех (talks of town). Некоторое время почти все монографии и обзоры по ЯМР начинались единообразно. Авторы добрым словом поминали первую неудачную попытку Гортера найти ЯМР [IV.2. 1936. Gorter C. J. 2], а затем сокрушались о том, что Гортер не внял предупреждению Гайтлера и Теллера [IV.1. 1936. Heitler W.] о чрезвычайно длинных временах релаксации ядерных спинов в диамагнетиках при низких температурах.

IV.3. Молекулярные и атомные пучки

Этот небольшой раздел по-своему является ключевым. Действительно, важнейшие виды парамагнитного резонанса (ядерный магнитный резонанс [IV.3. 1938. Rabi I. I. 1,2.] и электронный парамагнитный резонанс [IV.3. 1940. Kush P. 1,2]) впервые наблюдались в пучках частиц. Квадрупольные взаимодействия ядерного спина также изучались на опыте в молекулярных пучках. Если описание первого опыта по ЯМР в молекулярном пучке цитируется в литературе регулярно, то первые опыты по ЭПР в пучках атомов щелочных металлов в монографиях по ЭПР обычно не упоминаются.

[1)] Две неудачные работы Гортера [IV.Б. 1936. Gorter C. J. 2.; IV.Б. 1942. Gorter C. J.], незавершенная попытка устойчиво обнаружить ЯМР Е. К. Завойским, описанная в [I. 1971. Альтшулер С. А.].

Данный раздел содержит и некоторые работы, вышедшие после 1944 г., например, [IV.3. 1947. Nierenberg W.A] поскольку метод пучков как таковой не утратил своего значения и после открытия ЯМР и ЭПР в сплошных средах, о чем свидетельствует Нобелевская премия Рэмси 1989 г. за водородный генератор, создание неравновесной заселенности в котором производится в атомном пучке.

Оригинальные статьи. IV.4. Магнитный резонанс и магнитная релаксация

С 1944 г. в литературе стали появляться оригинальные статьи, посвященные исследованиям магнитного резонанса и релаксации в конденсированных средах, первые года три — единицами, затем десятками, с 1950 г. — уже сотнями, а к середине 1950-х гг. — тысячами.

Уже в первоначальном списке присутствовали работы по первому наблюдению (открытию) резонансов[1)]. Представлены также описания первых наблюдений эффектов двойных резонансов [IV.4. 1950. Kastler A.; Pound R.V.], таких спектральных эффектов как сверхтонкая структура в ЭПР [IV.4.1949. Abragam A.], химический сдвиг [IV.4. 1950. Dickinson W.G.; Proctor W.G.; IV.4. 1951. Gutowsky H.S. 1.] и сдвиг Найта [IV.4. 1949. Knight W.D.] в ЯМР, косвенное спин-спиновое взаимодействие в ЯМР [IV.4. 1951. Gutowsky H.S. 2, 3] и т.п. Это, безусловно, вехи науки. Приведены и первые теоретические работы, трактующие природу этих эффектов [IV.4.1950. Ramsey N.F.; IV.4.1953. Ramsey N.F]. Несколько работ цитируются как указания на происхождение названий отдельных «именных» устройств вроде «схемы Роллина» [IV.4.1946. Rollin B.J.], «генератора Паунда» [IV.4.1947. Pound R.V.] и т.п., а также «именных» эффектов, в первую очередь пресловутого «эффекта Оверхаузера» (например, первая работа, в заглавии которой назван этот эффект [IV.4. 1954. Beljers H.G.L.]). Такие работы иногда могут рассматриваться как приметы времени. Выдающихся исследователей магнитного резонанса можно условно разделить на предтеч, первооткрывателей, классиков и изобретателей. Парафраз темы «имена» — это изучение «парадоксов в истории магнитного резонанса»[2)]. А ведь история науки щедра на парадоксы. Некоторые парадоксальные ситуации повторяются из поколения в поколение ученых и от одной отрасли знаний к другой. Таким типовым парадоксом в истории науки мы видим парадокс или, точнее, «казус Колумба»: искать одно и находить другое. Такое случается и с экспериментаторами, и с теоретиками. Завойский искал сначала ЯМР, а наблюдал затем ЭПР. А. Оверхаузер теоретически искал наиболее эффективный механизм электронной спиновой релаксации в металлах [IV.4. 1953. Overhauser A. 1.], но так и не нашел его (ср. [IV.4. 1954. Elliot R.J.]). Зато он предсказал одно из эффективных

[1)] ЭПР [IV.4.1945. Zavoisky E.K. 1.], ЯМР [IV.4. 1946. Bloch F.; IV.4. 1946. Purcell E.] , ФМР [IV.4. 1946. Griffiths J.H.E.], ЯКР [IV.4. 1950. Dehmelt H.G. 1,2].

[2)] Ср. [I. 2004. Кессених А.В. 2.] и [I. 2004. Kessenikh A.V.].

проявлений двойного электронно-ядерного резонанса и динамической поляризации ядер (ДПЯ), а именно перенос поляризации с одного сорта спинов на другой при возбуждении и насыщении одного из резонансов, так называемый «эффект Оверхаузера». Замечательно, что этот эффект имеет место в любой среде с определенными механизмами и значениями времен корреляции спин-спиновых взаимодействий двух сортов спинов. При этом пара взаимодействующих спинов может быть и парой различных ядерных спинов (групп спинов) [IV.4. 1955. Solomon I.] или же один из спинов электронный, другой ядерный. Представляют интерес для историков и научные заблуждения, такие же важные приметы времени, как и научные достижения. Некоторые из подобных работ внесены в список нами или С. Сикорой (последний дает примечание: «wrong interpretation»).

Ряд оригинальных публикаций содержат солидную обзорную часть. Укажем здесь на ранние работы Э.Т. Липпмаа [IV.4. 1962. Липпмаа Э. Т. 1, 3]. Он в своих первых публикациях о собственной оригинальной действующей модели спектрометра ЯМР высокого разрешения сопоставил ее характеристики с характеристиками других лабораторных и промышленных образцов спектрометров. Это достойный пример для молодых исследователей, которые часто гнушаются подобным сравнительным анализом своих результатов в свете достижений своих предшественников и конкурентов.

Мы не претендуем на аргументированное сопоставление различных источников «по степени важности» (хотя бы по числу цитирований). Мы можем лишь качественно высказать соображения и такого рода, например, что до 1933 г. большинство цитируемых работ было написано по-немецки[1)], а после 1944 г. подавляющее большинство работ написано по-английски, причем более половины из всех трудов по магнитному резонансу до середины 1960-х гг. публиковалось в американском журнале Physical Review. С течением времени все больше публикаций по магнитному резонансу появляется в химических журналах (особенно в Journal of Chemical Physics), биологических и медицинских журналах, а также в специализированных журналах (с 1969 г. в Journal of magnetic resonance, Organic magnetic resonance, он же впоследствии Magnetic resonance in Chemistry). В одном из наших предыдущих исследований [II. 1999. Кессених А. В.] мы указали, что в обзоре литературы по ЯМР за 1972 г. [II. 1972. Corio P. L.] авторы практически исчерпывающего обзора привели 2088 ссылок (за 1969–1971 гг.), из которых лишь 128 статей авторов из бывшего СССР в русскоязычных и зарубежных (числом 17) изданиях. Таково было реальное место советских исследователей в области ЯМР (6% от общего числа публикаций). В настоящей работе этот вклад, мягко говоря, преувеличен. Данное преувеличение оправдано необходимостью создать прежде всего базу для историографии магнитного резонанса в СССР, возможность чего была упущена в предыдущих публикациях.

[1)] В классической работе Х. Бете [IV.1. 1929. Bethe H.], которая и сама написана по-немецки, не цитируется ни одной работы, написанной на другом языке!

Заключение

Мы хотели бы, чтобы и в дальнейшей работе над избранной нами темой были использованы некоторые полезные подходы предложенного нами варианта. Библиографию каждого этапа развития стоит начинать с монографий или обзоров, в какой-то степени завершающих этот этап. Ознакомившись с наиболее важными цитируемыми в этих обзорах или книгах, следует пополнить список другими работами наиболее часто цитируемых в обзорных статьях авторов. Эти другие работы могут появиться из справочных материалов Интернета или как ссылки из цитируемых в обзорах работ. Наконец, пользуясь данными Интернета, можно выбрать некоторый круг авторов (отмеченных почетными наградами), без работ которых библиографический список был бы не полон. Работы авторов этого круга стоило бы также отбирать из журнальных авторских индексов или индексов цитирования[1)]. Это позволит вернуться к библиографии из монографий и обзоров с тем, чтобы обратить внимание на работы будущих лауреатов почетных наград или широко цитируемые работы (вторичное изучение библиографии). Циклы проработки библиографии неизбежно приходится повторять, поскольку многие источники содержат сотни ссылок. Наличие данного возможно все еще предварительного варианта облегчит работу нашим последователям. Для реального продолжения такой работы мы предлагаем читателям авторский индекс к разделу IV.4. (оригинальные публикации), в котором мы также отмечаем вклад наиболее активных авторов в монографическую и обзорную литературу. Отметим также, что подбор источников в настоящем варианте оказался во многом ограничен чисто техническими причинами (наличие или отсутствие литературы в библиотеках).

Детальное (в какой-то степени) цитирование оригинальных работ мы намеревались завершить работами примерно 1969–1971-х гг. Однако мы не могли оставить без внимания работы нобелевских лауреатов и лауреатов премии Завойского, а также известные нам работы, открывающие новые направления, и статьи, характеризующие современное состояние исследований магнитного резонанса в некоторых отечественных центрах (Казань, Новосибирск, Институт химической физики РАН и его дочерние учреждения, МГУ им. М.В. Ломоносова и др.). Естественно, цитирование последних двух категорий работ носит более субъективный характер, за что мы приносим извинения тем авторам, вклады которых мы упустили. Мы выбрали для цитирования поздние работы, в частности пользуясь консультациями, за которые мы глубоко благодарны А.Б. Арутюняну, В.А. Ацаркину, П.Г. Баранову, В.А. Забродину, В.Е. Зобову, А.В. Ильясову, С.В. Капельницкому, Г.Е. Карнауху, А.А. Кокину, Г.В. Лагодзинской, Ю.Н. Молину, И.В. Овчинникову, К.М. Салихову, Н.М. Сергееву, Ю.И. Таланову, Э.Б. Фельдману и другим коллегам.

[1)] Признаемся, что мы этим способом пока не можем воспользоваться.

Мы вольно или невольно опустили (или почти упустили) в первоначальном варианте [I. Кессених. 2005] при подборке литературы целые пласты, может быть, не самые главные, но очень важные для историографии магнитного резонанса. По тематике это были проблемы ЭПР кластеров и бирадикалов, ЯМР ядер с большими квадрупольными моментами, ЯМР в магнитно-упорядоченных средах, ФМР и АФМР[1)] и многое другое. По источникам это, например, обширная литература (оригинальные статьи), публиковавшаяся с 1969 г. в Journal of Magnetic Resonance. Полное преодоление указанных недоработок потребовало бы подготовки совершенно новой (примерно раза в четыре более объемной) публикации. Настоящий, все же частично дополненный материал содержит несколько сот дополнений и уточнений, сделанных нами в результате работы в библиотеках ФИАН, ИХФ и в Интернете. Мы еще раз приглашаем коллег продолжить начатую работу с целью создания полноценной библиографии трудов по магнитному резонансу.

Список избранных источников по истории магнитного резонанса

Условные обозначения публикаций:

(*) — публикация, относящаяся к смежным проблемам (магнетомеханические резонансы, магнитный резонанс необычных (мюонных) атомов, мюония и позитрония);

($^{+}$) — дополнительная литература;

(^{b}) — биографический материал;

(^{hist}) — исторический материал;

(^{histR}) — материал, важный лишь для истории развития магнитного резонанса в России.

В том случае когда название работы не указывает на существенные обстоятельства постановки и выполнения работ, даны краткие текстовые примечания. Часть примечаний принадлежит С. Сикоре и помечена знаком (S.S.).

Многие примечания, которые мы считаем особенно важными, как и примечания, принадлежащие С. Сикоре, приводятся также на английском языке.

I. Исторические исследования и материалы (историография)

1957

Интервью с Е. К. Завойским // Советский Союз. — 1957. — № 11(93). — С. 22.

[1)] По сравнению с [I. 2005. Кессених] этот раздел, в частности, пополнен ссылками из работ, переведенных и собранных в издании [II. 1952. Ферромагнитный резонанс] (Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Сб. статей под ред. С. В. Вонсовского. М.: ИИЛ, 1952. 350 с.).

1962

Archives des sciences ed. par la société de physique et d'historie naturelle de Genève. Fascicule spécial. 10e Colloque Ampère. Leipzig. 13–17 Septembre 1961. — 1962. — Vol. 14. — 531 p.

Le groupement Ampère de 1952 à 1962 // Arch. des sci. Genève. Fascicule spécial. 10e Colloque Ampère. Leipzig. 13–17 Septembre 1961. — 1962. — Vol. 14.

1963

Несмеянов А. Н., *Федин Э. И.* Ждут не дождутся // Литературная газета. — 29 Октября. — № 130. — 1963 ([histR]).

1967

Jammer J. The conceptual development of quantum mechanics. — N. Y. et al.: McGraw Hill book company, 1967.

1968

Белькинд Л. Д. Андре Мари Ампер. 1775–1836. — М.: Наука, 1968. — 278 с.

1971

Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — 304 с. (также в разделе «Обзоры»).

Альтшулер С.А., *Козырев Б.М.* К истории открытия электронного парамагнитного резонанса // Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 25–31. (Перепечатка в сборнике: Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 12–17.)

Гортер К. Об электронной магнитной релаксации и резонансе // Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 15–25 (повторно в разделе «Обзоры»).

Кастлер А. К вопросу о предыстории открытия электронного парамагнитного резонанса // Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 9–15. (Сокращенная перепечатка в сборнике: Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 18–21.)

1974

Дунская М. И. Возникновение квантовой электроники. — М.: Наука, 1974. — 160 с.

1975

Акустический парамагнитный резонанс: об открытии, сделанном С. А. Альтшулером. Об открытии парамагнитного резонанса // Вестник Академии наук СССР. — 1975. — № 3. — С. 149.

1980

Боровик-Романов А. С. Об открытии парамагнитного резонанса // ВИЕТ. — 1980. — № 2. — С. 126.

1985

Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики (пер. с англ.) (Оригинал: Jammer J. The conceptual development of quantum mechanics. — N. Y. et al.: McGraw Hill book company, 1967). — М.: Наука, 1985. — 384 с.

1990

Френкель В. Я., *Явелов Б. Е.* Эйнштейн: Изобретения и эксперимент. 2-е изд. — М.: Наука, 1990. — 240 с. (* Рассмотрена, в частности, работа Эйнштейна и Де Гааза по магнетомеханическому эффекту. Точность измерений была невелика и вопрос о значении *g*-фактора электрона был решен ошибочно.)

1991

Абрагам А. Время вспять, или Физик, физик, где ты был? — М.: Наука. Главн. ред. физ.-мат. лит., 1991. — 392 с.

1993

Шушаков О. А., *Легченко А. В.* Бесскважинный ЯМР в земном поле // Новости ЯМР в письмах. — 1993. — № 3. — С. 13–15.

1994

Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — 256 с.

Альтшулер С. А., *Козырев Б. М.* К истории открытия электронного парамагнитного резонанса // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 12–17. (Перепечатка из сборника: Парамагнитный резонанс. 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 25–31.)

Вонсовский С. В. Воспоминания об академике Завойском // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 21–27.

Завойский Е. К. Очерк истории ЭПР // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 222–225.

Кастлер А. К вопросу о предыстории открытия электронного парамагнитного резонанса // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний

об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 18–21 // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 18–21. (Полный текст выступления с иллюстрациями см. в сборнике: Парамагнитный резонанс. 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 9–15.)

Силкин И.И., *Трофанчук Л.А.* Об истории открытия ЭПР (материалы архивов и находки аппаратуры) // Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Завойском. — М.: Наука, 1994. — С. 114–118.

1995

Kochelaev B.I., *Yablokov Yu. V.* The beginning of paramagnetic resonance. — Singapore, London, Hong-Kong: World Scientific, 1995. — 176 p.

Аганов А.В. Ю.Ю. Самитов — путь в науке. II Всероссийский семинар. Материалы семинара «Новые достижения ЯМР в структурных исследованиях» // Новости ЯМР в письмах (специальный выпуск). — 1995. — №1. — С. 5–15.

Завойская Н.Е. // Курчатовец. — 1995. — №3(930). — С. 2.

1996

Encyclopedia of NMR. Vol. 1–8. — Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sons, 1996 (также в разделе «Обзоры»).

Becker E.D., *Fisk Cherill L.*, *Khetrapal C.L.* The Development of NMR // Encyclopedia of NMR. 1996. Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol. 1. — P. 1–158.

Goldman M. The time when spin temperature was hot stuff // Encyclopedia of NMR. 1996. — Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol. 1. — P. 338–341.

Lauterbur P.C. One path out of many — how MRI actually began // Encyclopedia of NMR. 1996. — Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol. 1. — P. 445–449.

Proctor W.G. When You and I were young, Magnet // Encyclopedia of NMR. 1996. — Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol. 1. — P. 548–551.

Sergeyev N.M. Isotope effects on spin-spin coupling constants // Encyclopedia of NMR. 1996. — Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol.1.

Slichter C.P., *Corey R.L.*, *Curro N.J.*, *DeSoto S.M.*, *O'Hara K.*, *Imai T.* Nuclear magnetic resonance and electron spins: some history, ancient and in the making // Phil. Mag. — 1996. — Vol. B74. — P. 545–561.

Waugh J.S. Alchemy of nuclear spins // Encyclopedia of NMR. 1996. — Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singaporo: John Wiley & Sons. — Vol. 1. — P. 683–688.

Айхофф У. (Bruker Analytishe Meestechnik GmbH) // Российский хим. журн. — 1996. — XL, №1. — С. 26.

Завойский В. К. Минувшее. — Казань: Татполиграф, 1996. — 266 с.

Устынюк Ю. А., *Гуревич А. З.* (Varian) // Российский хим. журн. — 1996. — XL, № 1. — С. 40.

Федин Э. И. Золотое клеймо неудачи (воспоминания) // Новости ЯМР в письмах. — 1996. — № 3–4. — С. 336–344 и 1997. — № 1–2. — С. 418–427.

1997

Бородин П. М. // Новости ЯМР в письмах. — 1997. — № 3–4. — С. 495–500.

Хачатуров А. С. // Новости ЯМР в письмах. — 1997. — № 3–4.

1998

Анаников В. П. ЯМР, структура молекул и эволюция персональных компьютеров // Новости ЯМР в письмах. — 1998. — № 3–4. — С. 632–637.

Евгений Константинович Завойский. Материалы к биографии. — Казань: Унипресс, 1998. — 96 с.

Завойская Н. Е. О работе Е. К. Завойского в атомном проекте (Арзамас-16) // История советского атомного проекта. Документы. Воспоминания. Исследования. Выпуск 1. — М.: Янус-К, 1998. — С. 274–278 ([b histR]).

Евгений Константинович Завойский (1907–1976): Материалы к биографии / Каз. физ.-техн. ин-т; Библиогр. данные В. К. Труфановой-Завойской и др. — Казань: Унипресс, 1998. — 94 с.

Щербаков В. А. Осуществление существительного с прилагательным, или ЯМР как часть речи // Новости ЯМР в письмах. — 1998. — № 3/4. — С. 653–669.

Яблоков Ю. В., *Фанченко С. Д.* Краткий очерк научной, педагогической и общественной деятельности (Е. К. Завойского) // Евгений Константинович Завойский. Материалы к биографии. — Казань: Унипресс, 1998. — С. 10–29.

1999

Кессених А. В. Я. Г. Дорфман: Вклад в магнетохимию и магнитный резонанс // Исследования по истории физики и механики. — М.: Наука, 1999. — С. 91–112.

Кессених А. В. Развитие аналитических методов ЯМР в СССР и России // Новости ЯМР в письмах. Часть 1. — 1999. — № 1/2. — С. 655–678; Часть 2. 1999. — № 3/4. — С. 794–808. Казань. (См. публикацию [I. Кессених, 2008].)

2001

Блох М. А. Советский Союз в интерьере Нобелевских премий. — СПб.: Изд-во «Гуманистика», 2001. — 608 с.

Памяти Бориса Никитовича Провоторова. Сокращенная стенограмма семинара «Проблемы магнитного резонанса» № 158 // Новости ЯМР

в письмах. — 2001. — №3–4. — С. 1183–1238. (См. публикацию [I. Кессених, 2005.1].)

Семен Александрович Альтшулер. Воспоминания друзей, коллег, учеников. — Казань: ДАС, 2001. — 136 с.

2003

Кессених А. В. Лорен(т)цева форма линии. Происхождение и эволюция понятия. Утверждение термина // Исследования по истории физики и механики. — М.: Наука, 2003. — С. 272–292.

Кессених А. В. Физика конденсированного состояния и квантовая электроника // Методические материалы для подготовки к кандидатскому экзамену по истории и философии науки. — М.: Янус-К, 2003. — С. 63–88.

Семен Александрович Альтшулер (1911–1983). Воспоминания. — Казань: Физтехпресс, 2003. — 190 с.

2004

Борис Михайлович Козырев (1905–1979). — Казань: Изд-во Казанского университета, 2004. — 28 с.

Кессених А. В. Шестьдесят лет открытия электронного парамагнитного резонанса // Вопросы современной физики. Лекции и доклады, прочитанные на конференции ВНКСФ-10 и на школе и семинаре по оптике и спектроскопии. — М.: ООП физфака МГУ, 2004. — С. 4–22.

Кессених А. В. Имена и безымянные герои магнитного резонанса // IV Международная конференция «Проблемы истории физико-математических наук», посвященная 100-летию со дня рождения доктора физико-математических наук, профессора П. С. Кудрявцева. 14–18 июня 2004 г. Материалы конференции. — Тамбов. 2004. — С. 90–97. (См. публикацию [I. Кессених. 2009. 1].)

2005

Кессених А. В. ЯМР, ЭПР и теория конденсированных систем магнитных диполей (Опыт устной истории теории Провоторова) // Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е гг. — Изд-во РХГИ, 2005. — С. 300–385.

Кессених А. В. Владимир Федорович Быстров. Опыт неформальной биографии ученого) // Научное сообщество физиков СССР в 1950-е–1960-е гг. Вып. 1. — СПб.: Изд-во РХГИ, 2005. — С. 537–567.

Кессених А. В. К историографии и библиографии магнитного резонанса // Исследования по истории физики и механики 2005. — М.: Наука, 2005. — С. 217–291 (первый набросок к главе 4 данной публикации).

Силкин И. И. Евгений Константинович Завойский. Документальная хроника научной и педагогической деятельности в Казанском университете. — Казань: Изд-во КГУ, 2005. — 240 с.

2006

Reinhardt C. A lead user of instruments in science. John D. Roberts and the adaptation of nuclear magnetic resonance to organic chemistry. 1955–1975 // ISIS. — 2006. — Vol. 97, No 2. — P. 205–236.

2007

Завойская Н. Е. История одного открытия. — М. ООО «Группа ИДТ», 2007. — 208 с.

Кессених А. В. К 100-летию со дня рождения Е. К. Завойского // УФН. — 2007. — Т. 177, №9. — С. 1029–1030.

Федин Э. И. Золотое клеймо неудачи (Воспоминания о советском приборостроении ЯМР) // Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы. Вып. 2. — Спб.: Изд-во РХГА, 2008. — С. 366–393.

Кессених А. В. Физик из Грузии Леван Буишвили (Воспоминания) // Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие гг. Вып. 2. — Спб.: Изд-во РХГА, 2008. — С. 498–518.

Кессених А.В. Наш «Lühike jalg» в Европу (Воспоминания об эстонском физике и химике Энделе Липпмаа) // Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы. Вып. 2. — Спб.: Изд-во РХГА, 2008. — С. 574–587.

2008

Кессених А. В. Как у нас в СССР покоряли ЯМР (развитие аналитических методов ЯМР в СССР и России) // Исследования по истории физики и механики. 2007. — М.: 2008, Наука. — С. 148–194.

2009

Кессених А. В. Имена и безымянные герои магнитного резонанса // ВИЕТ. — 2009. — №2. — С. 82–98.

Кессених А. В. Открытие, исследования и применения магнитного резонанса // УФН. — 2009. — Т. 179, вып. 7. — С. 737–764 [*Kessenikh A. V.* Magnetic resonance: discovery, investigations, and applications // Physics-Uspekhi. — 2009. — Vol. 52, No 7. — P. 695–722].

2017

Ptushenko V. V., *Zavoiskaya N. E.* (2017). EPR in the USSR: the thorny path from birth to biological and chemical applications // Photosynthesis research. — Vol. 134(2). — P. 133–147.

2018

Ptushenko V. V., *Amiton I. P.* (2018). To turn the tide in the Soviet scientific instrumentation: in memoriam Erlen I. Fedin (1926–2009) // Structural Chemistry. — 29(4). — P. 1225–1234.

Кессених А. В., *Марколия А. А.* Метод ядерного магнитного резонанса в Сухумском физико-техническом институте (1949–1959) // Вопросы истории естествознания и техники. — 2018. — Т. 39, №1. — С. 27–37.

Савелова О. А. История становления и развитие магнитно-резонансной томографии в Сибири: предпосылки, институционализация, практические применения (на примере Международного томографического центра СО РАН). Дисс… канд. ист. наук. Томск, 2018.

2019

Ptushenko V. V. (2019). The unfinished Nobel race of Eugene Zavoisky: to the 75th anniversary of EPR discovery // Science Bulletin. — Vol. 64(3). — P. 146–148.

Птушенко В. В. (2019) Зарождение цепи // Вестник РАН (в печати).

II. Монографии, обзоры и тематические сборники

1932

Van Vleck J. H. The theory of electric and magnetic susceptibilities. — Oxford.: Clarendon Press, 1932. — 384 p. (+)

1943

Broer L. J. F. On the Theory of Paramagnetic Relaxation // Physica. — 1943. — Vol. 10. — P. 801.

1945

Bloch F., *Rabi I. I.* Atoms in variable magnetic fields // Rev. Mod. Phys. — 1945. — Vol. 17. — P. 237–244.

1947

Гинзбург В. Л. Радиоспектроскопия молекул // УФН. — 1947. — Т. 31, вып. 3. — С. 320–343. (Первое упоминание работ по ЯМР и ЭПР в солидном обзоре*.)

1948

Proceedings of the physical society. London. — 1948. — Vol. 61, No 6. — P. 450–600.

Bloembergen N. Nuclear Magnetic Relaxation, The Hague Martinns, Nijhoff 1948; reprinted by Benjamin, New York, 1961. (First NMR monograph S.S.)

Buggley D. M. S., *Bleaney B.*, *Griffiths J. H. S.*, *Penrose R. P.*, *Plumpton B. I.* Paramagnetic resonance in salts of the iron group. A preliminary survey. I. Theoretical discussion // Proceedings of the physical society. London. — 1948. — Vol. 61, No 6. — P. 542–550; II. Experimental results // ibidem. — P. 551–561. (См. также в разделе «Оригинальные статьи», поскольку это обзор собственных, причем свежих работ.)

Gorter C. J. A few remarks about spectroscopy at low frequencies // Proceedings of the physical society. London. — 1948. — Vol. 61, No 6. — P. 541–542.

1949

Гортер К. Парамагнитная релаксация (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1949. — 144 с. (См. *Gorter C.J.* Paramagnetic relaxation. 1947.)

1950

Birks J.B. // Proc. Phys. Soc. — 1950. — Vol. 63. — P. 65. См. перев. *Биркс Дж.Б.* Свойства ферромагнитных соединений при сантиметровых волнах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С.В. Вонсовский. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 241–250.

Pake G.E. Fundamentals of Nuclear Magnetic Resonance Absorption. I // Am. J. Phys. — 1950. — 18. — P. 438–452.

Pake G.E. Fundamentals of Nuclear Magnetic Resonance Absorption. II // Am. J. Phys. — 1950. — 18. — P. 473–486. См. перев. под ред. Л.Л. Декабруна. *Пейк Дж.* Основы теории ядерного магнитного резонанса. В сборнике «ЯМР и ЭПР спектроскопия». — М.: МИР, 1964. — С. 273–329. Редактор перевода считает, что статья Пейка наилучшим образом может служить введением в теорию и практику ЯМР для неофитов.

Van Vleck J. Concerning the theory of ferromagnetic resonance adsorption Phys. Rev. — 1950. — Vol. 78. — P. 266–274. См. перев. *Ван Флек Дж.* К теории ферромагнитного резонансного поглощения // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С.В. Вонсовский. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 56–71.

1951

Proceedings of International conference on spectroscopy at radiofrequencies Amsterdam, September. 1950 // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 169–387.

Abragam A. Paramagnetic resonance and hyperfine structure in the iron transition group // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 209–212.

Bleaney B. Hyperfine structure in paramagnetic resonance // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 175–190.

Bloch F. Nuclear induction // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 272–281.

Gorter C.J. Spectroscopy at radiofrequencies // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 169–171.

Kastler A. Méthodes optiques d’ étude de la résonance magnétique // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 191–204.

Kittel Ch. Ferromagnetic resonance // Journ. phys. et rad. — 1951. — Vol. 12. — P. 291.

Kopferman H. Quadrupole frequencies in crystals // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 386–387. (Прим. Краткий обзор работ Демельта и Крюгера по открытию и исследованию ЯКР, см. также в разделе «Статьи» IV.4.)

Purcell E.M. Nuclear resonance in crystals // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 282–302.

Ramsay N.F. Magnetic shielding of nuclei in molecules // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 303–307 (Обзор первых работ по экранированию ядер и химическому сдвигу ЯМР).

Schneider E.E., *England T.S.* Paramagnetic resonance at large magnetic dilution // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 221–233.

Ubbink J., *Poulis J.A.*, *Gorter C.J.* Paramagnetic resonance in iron alums // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 213–220.

Van Vleck J.H. Ferromagnetic resonance // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 234–252. См. перев. *Ван Флек Дж.* Ферромагнитный резонанс // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Сб. статей под ред. С.В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 32–43.

1952

Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Сб. статей под ред. С.В. Вонсовский. — М.: ИИЛ, 1952. — 350 с.

Лазукин В.Н. Ферромагнитный резонанс в сантиметровых волнах // Известия АН СССР. Сер. физ. — 1952. — Т. 16, №4. — С. 510–520.

Bloch F. The Principle of Nuclear Induction, Nobel Prize Lecture, 1952. (The pdf document can be downloaded from Bloch's Nobel Prize web page S.S.).

1953

Anderson P.W., *Weiss P.R.* Exchange narrowing in paramagnetic resonance // Rev. Mod. Phys. — 1953. — Vol. 25, No 1. — P. 269–276.

Gordy W., *Smith W.V.*, *Trambarulo R.F.* Microwave spectroscopy. — Wiley, New York; Chapman & Hall, London, 1953. — xii + 446 p.

Gorter C.J. La spectroscopie des ondes hertziennes // Experientia. — 1953. — T. 9, No 4. — P. 545–576.

Hahn E.L. Free Nuclear Induction // Phys. Today. — 1953. — Vol. 6/11. — P. 4–9.

Purcell E.M. Research in nuclear magnetism // Nobel Prize Lecture, 1952. (The pdf document can be downloaded from Purcell's Nobel Prize web page.)

Bloch F. The principle of nuclear induction // Science. — 1953. — Vol. 118. — P. 425. (This and next item: First public divulgation of NMR S.S.)

Purcell E.M. Research in nuclear magnetism // Science. — 1953. — Vol. 118. — P. 431.

Ramsey N.F. Nuclear Moments. — John Wiley & Sons, New York, 1953.

Smith J.A.S. NMR Absorption // Quart. Rev. Chem. Soc. — 1953. — Vol. 7. — P. 279.

1954

Gutowsky H.S. Nuclear Magnetic Resonance // Annual Rev. Phys. Chem. — 1954. — Vol.5. — P. 333–356. doi:10.1146/annurev.pc.05.100154.002001

Rabi I. I., *Ramsey N. F.*, *Schwinger J.* Use of rotating coordinates in magnetic resonance problems // Rev. Mod. Phys. — 1954. — Vol. 26. — P. 167. (Introduction of rotating coordinates formalism. S.S. Введение в формализм вращающихся координат.)

Shoolery J. N., Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy // Anal. Chem. — 1954. — Vol. 26. — P. 1400–1403. (Introducing NMR as a tool for chemical analysis S.S.). Обобщается опыт первых работ по химической радиоспектроскопии ЯМР на фирме Varian.

Гортер К. Радиоспектроскопия (пер. с англ.) // УФН. — 1954. — Т. 53, №4. — С. 545–576. (См. *Gorter C. J.* La spectroscopie des ondes hertziennes // Experientia. — 1953. — T. 9, No 4. — P. 545–576.)

1955

Andrew E. R. Nuclear Magnetic Resonance. — Cambridge University Press, Cambridge, 1955. (2nd Edition 1958. Second monograph on NMR first including some spectroscopic applications to chemistry. S.S.) См. *Эндрю Э.* Ядерный магнитный резонанс (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1957. — 300 с.

Grivet P. La Resonance Paramagnetique Nucleaire. — Centre National de la Scientifique, Paris, 1955.

Ingram D. J. E. Spectroscopy at radio and microwave frequencies. — London: Butterworths scientific publications, 1955. (См. русск. перевод 1959.)

Microwave and radiofrequency spectroscopy // Discussion of the Faraday society. — 1955. — Vol. 19. — P. 187–400.

Townes C. H., *Shawlow A. L.* Microwave spectroscopy New York–London–Toronto: McGraw-Hill publishing company, 1955. (См. русск. перевод 1959.)

Wertz J. E. Nuclear And Electronic Spin Magnetic Resonance // Chem. Rev. — 1955. — Vol. 55. — P. 829–955. (An early chemically oriented NMR and ESR review. S.S.)

Горди В., *Смит В.*, *Трамбаруло Р.* Радиоспектроскопия (пер. с англ.) — М.: ГИТТЛ, 1955. — 448 с. См. оригинал: *Gordy W.*, *Smith W. V.*, *Trambarulo R. F.* Microwave spectroscopy. — N. Y., 1953.

1956

Kopferman H. Kernmomente 2-te neubearb. Auflag. Frankfurt am Main. Akademische Verl. Ges., 1956.

Noyes R. M. Models relating molecular reactivity and diffusion in liquids // J. Amer. Chem. Soc. — 1956. — Vol. 78. — P. 5486–5490. ($^+$ Работа, важная для понимания механизмов ХПЯ, описывает поведение вновь образовавшейся при распаде молекулы пары в момент $\tau = 0$ радикалов, предсказывает эффект клетки, то есть вероятность повторных парных столкновений, убывающую как $\tau^{-3/2}$.)

($^+$The work is important for understanding the CIDNP mechanisms, describes the behavior of pair of radicals formed by decay of some molecule

at the time $\tau = 0$, predicts the cell effect, that is, the probability of repeated pair collisions, decreasing as $\tau^{-3/2}$.)

Ramsey N.F. Molecular Beams. — Oxford University Press, 1956. — 490 p. ($^{+}$)

См. также раздел «Молекулярные и атомные пучки».

1957

Cohen M.H., *Reif F.* Quadrupole effects in nuclear magnetic resonance // Solid State Physics. — Vol. 5 (Ed. by Seitz F.). — N. Y., 1957. Acad. Press.

Lösche A. Kerninduktion. Berlin. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. 1957 (См. русский перевод 1964).

Завойский Е.К., *Альтшулер С.А.*, *Козырев Б.М.* Парамагнитный резонанс // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1957. — Т. 20, №11. — С. 1199–1226.

Эндрю Э. Ядерный магнитный резонанс (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1957. — 300 с. (*Andrew E.R.* Nuclear magnetic resonance. — Cambridge: University press, 1955.) Первый перевод монографии по ЯМР на русский язык.

1958

Das T.P., *Hahn E.L.* Solid State Physics: Supplement 1: Nuclear Quadrupole Resonance Spectroscopy. — N.Y.: Academic Press, Inc., 1958. — 223 p.

1959

Pople J.A., *Shneider W.G.*, *Bernstein H.J.* High Resolution Nuclear Magnetic Resonance. 1959. McGraw-Hill Book Company N.Y. (См. русский перевод 1962.)

Блюменфельд Л.А., *Воеводский В.В.* Радиоспектроскопия и проблемы современной физической химии // УФН. — 1959. — Т. 68, №1. — С. 31–50.

Гречишкин В.С. Ядерный квадрупольный резонанс // УФН. — 1959. — Т. 69. — С. 189–216. [*Grechishkin V.S.* Nuclear quadrupole resonance // Sov. Phys. Usp. — 1959. — Vol. 2. — P. 699–718.]

Инграм Д. Спектроскопия на высоких и сверхвысоких частотах (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1959. — 446 с. (*Ingram D.J.E.* Spectroscopy at radio and microwave frequencies. — London: Butterworths scientific publications, 1955.)

Таунс Ч., *Шавлов А.* Радиоспектроскопия (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1959. — 756 с. (*Townes C.H.*, *Shawlow A.L.* Microwave spectroscopy. — New York–London–Toronto: McGraw-Hill publishing company, 1955.)

1960

Papers presented at Varian's Third Annual Workshop on Nuclear Magnetic Resonance and Electron Paramagnetic Resonance held at Palo Alto, California Oxford–London–New York–Paris: Pergamon Press, 1960. (См. русский перевод 1964 с добавл.)

Low W. Paramagnetic Resonance in Solids, Solid state Phys., Suppl. 2. — Academic Press, N. Y.–London, 1960. (См. русский перевод 1962.)

Копферман Г. Ядерные моменты (пер. с нем.). — М.: ИИЛ, 1960. — 485 с. (*Kopferman H.* Kernmomente 2-te neubearb. Auflag. Frankfurt am Main. Akademische Verl. Ges., 1956.)

Материалы совещания по парамагнитному резонансу. — Казань, 1960.

Хуцишвили Г. Р. Эффект Оверхаузера и родственные явления // УФН. — 1960. — Т. 71, вып. 1. — С. 9–69.

1961

Abragam A. Principles of nuclear magnetism. — Oxford: Clarendon press. 1961. — 599 p. (См. русск. перевод, 1963.)

Альтшулер С. А., *Козырев Б. М.* Электронный парамагнитный резонанс. — М.: Госиздат ФМЛ, 1961. — Изд. 1-е. 368 с. (См. также пер. на нем. *Altschuler S. A.*, *Kozirew B. M.* Paramagnetische Elektronenresonanz. — Leipzig: Teubner, 1963. — 390 S.; пер. на англ. *Altshuler S. A.*, *Kozyrev B. M.* Electron paramagnetic resonance. — N.Y.; L.: Acad. Press, 1964. — 372 p. (Bibl. 1066 ref.))

Вонсовский С. В. Магнитный резонанс в ферромагнетиках / Ферромагнитный резонанс. М.: Физматгиз. — 1961. — С. 13–24.

Скроцкий Г. В., *Курбатов Л. В.* Феноменологическая теория ферромагнитного резонанса / Ферромагнитный резонанс. М.: Физматгиз. — 1961. — С. 25–97.

Туров Е. А. Магнитный резонанс в ферромагнетиках и антиферромагнетиках как возбуждение спиновых волн / Ферромагнитный резонанс. М.: Физматгиз. — 1961. — С. 98–151.

Ферромагнитный резонанс / Под. ред. С. В. Вонсовского. — М.: Физматгиз, 1961. — 344 с.

1962

Aitken M. J. Physics applied to archaelogy // Contemporary Phys. — 1962. — Vol. 3. — P. 334. (См. русский перевод в УФН. 1965.)

Блюменфельд Л. А., *Воеводский В. В.*, *Семенов А. Г.* Применение электронного парамагнитного резонанса в химии. — Новосибирск.: Изд-во СОАН, 1962. — 240 с.

Зверев Г. М., *Карлов Н. В.*, *Корниенко Л. С.*, *Маненков А. А.*, *Прохоров А. М.* Применение парамагнитных кристаллов в квантовой электронике // УФН. — 1962. — Т. 72, вып. 1. — С. 61–108.

Лоу В. Парамагнитный резонанс в твердых телах, пер. с англ. под ред. Скроцкого. — ИИЛ, М., 1962. (*Low W.* Paramagnetic Resonance in Solids, Solid state Phys., Suppl. 2. — Academic Press, N.Y.–London, 1960.)

Попл Дж., *Шнейдер В.*, *Бернстайн Х.* Спектры ядерного магнитного резонанса высокого разрешения (пер. с англ.). — М.: ИИЛ, 1962. — 592 с. См. оригинал: *Pople J. A.*, *Shneider W. G.*, *Bernstein H. J.* High Resolution Nuclear Magnetic Resonance. — 1959. McGraw-Hill Book Company N.Y., T., L.

1963

Jeffries C. D. Dynamic nuclear orientation. — New York–London–Sydney: Interscience Publishers, 1963. См. русск. перевод с доп. *Джеффрис К.* Динамическая ориентация ядер (пер. с англ. под ред. Г.В. Скроцкого). — М.: Мир, 1965. — 319 с. (Карсон Джеффрис любезно предоставил редактору русского перевода результаты своих последних (1963–1964 гг.) исследований.)

Абрагам А. Ядерный магнетизм (пер. с англ.). — М.: Издательство иностранной литературы, 1963. — 551 с. (См. оригинал: *Abragam A.* Principles of nuclear magnetism. — Oxford: Clarendon press, 1961. — 599 p.)

Гречишкин В. С., Айнбиндер Н. Е. Ядерный спиновый резонанс // УФН. — 1963. — Т. 80. — С. 597–637. [*Grechishkin V. S.*, *Ainbinder N. E.* Nuclear spin resonance // Sov. Phys. Usp. — 1964. — Vol. 6. — P. 566–589.]

Лёше А. Ядерная индукция (пер. с нем.). — М.: ИИЛ, 1963. — 684 с. (*Lösche A.* Kerninduktion. Berlin. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. 1957). (Профессор Лёше дополнил список литературы в русском переводе, добавочное дополнение сделано и редактором перевода П. М. Бородиным.)

Ройцин О. Б. Парамагнітний резонанс. Киев: Держтехвидав, 1963. — 143 с.

1964

Abragam A., *Borghini M.* Progress in low temperature physics, ed. by C. J. Gorter. Vol. IV. — Amsterdam, 1964. — P. 384. (См. приложение к переводу на русский *Джеффрис К.* Динамическая ориентация ядер. 1965.)

Александров И. В. Теория ядерного магнитного резонанса». — М.: Наука, 1964. — 208 с. Первая оригинальная монография по теории ЯМР на русском языке.

Скрипов Ф. И. Курс лекций по радиоспектроскопии. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. — 212 с.

ЯМР и ЭПР — спектроскопия (пер. с англ. с добавлениями под ред. Л. Л. Декабруна). — М.: Мир, 1964. — 336 с. Оригинал: NMR and EPR spectroscopy. Papers presented at Varian's Third Annual Workshop on Nuclear Magnetic Resonance and Electron Paramagnetic Resonance held at Palo Alto, California Oxford–London–New York–Paris: Pergamon Press, 1960. Добавления: 1) перевод с англ. статьи: *Pake G. E.* The principles of nuclear magnetic resonance theory // Amer. J. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 438–473; 2) Самонастраивающиеся ЯМР-спектрометры типа А-60 (составлено редактором перевода).

1965

Bible R. H. nterpretation of NMR spectra. An empirical approach. — N.Y.: Plenum Press, 1965. (См. русский перевод 1969). *В энергичном рецептурном стиле…*

Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер (пер. с англ. переработ. с доп.). — М.: Мир, 1965. — 319 с. (Оригинал: *Jeffries C.D.* Dynamic nuclear orientation. — New York–London–Sydney: Interscience Publishers, 1963.) С приложением: *Абрагам А.*, *Боргини М.* (пер. с англ.) Получение поляризованных ядерных мишеней методом динамической поляризации ядер (с. 251–313). (См.: *Abragam A.*, *Borghini M.* // Progress in low temperature physics, ed. by C.J. Gorter. Vol. IV. — Amsterdam,1964. — P. 384.)

Хуцишвили Г.Р. Спиновая диффузия // УФН. — 1965. — Т. 87, вып. 3. — С. 211–254.

Эйткин М. Применение физики в археологии (пер. с англ.) // УФН. — 1965. — Т. 87, вып. 2. — С. 303–340. (См.: *Aitken M.J.* Physics applied to archaelogy // Contemporary Phys. — 1962. — Vol. 3. — P. 334.)

1966

Emsley J.W., *Feeney J.*, *Sutcliffe L.H.* High Resolution Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. Vol. 1. 1966. Pergamon. 659 p. (См. русский перевод 1968.)

Emsley J.W., *Feeney J.*, *Sutcliffe LH.* High Resolution Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy Vol. 2. 1966. Pergamon. 542 p. (См. русск. перевод, 1969.) (Русский перевод этого двухтомника на долгие годы стал настольной книгой советских специалистов по применению ЯМР в химии.)

Карлов Н.В., *Маненков А.А.* Квантовые усилители. Итоги науки. Сер. Физика. Радиофизика 1964–1965. — М.: ВИНИТИ, 1966. — 334 с.

Слоним И.Я., *Любимов А.Н.* Ядерный магнитный резонанс в полимерах. — М.: Химия, 1966. — 340 с.

1967

Poole C.P. Electron spin resonance. A comprehensive treatise on experimental techniques. — Interscience, N.Y., 1967. — 922 p. (См. русск. перевод, 1971.)

Бородин П.М., *Мельников А.В.*, *Морозов А.А.*, *Чернышев Ю.С.* Ядерный магнитный резонанс в земном поле. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1967. — 232 с.

Гречишкин В.С., *Айнбиндер Н.Е.* Радиоспектроскопия органических полупроводников // УФН. — 1967. — Т. 91. — С. 645–675. [*Grechishkin V.S.*, *Ainbinder N.E.* Radiospectroscopy of organic semiconductors // Sov. Phys. Usp. — 1967. — Vol. 10. — P. 237–255.]

Синивеэ В., *Липпмаа Э.* Всесоюзный симпозиум по ядерному магнитному резонансу и ядерному квадрупольному резонансу. Таллин 1967. 24–30 сентября // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика.) — 1967. — Vol. 16, №4. — P. 505–509.

1968

Haeberlen U., *Waugh J.* Coherent meaning in magnetic resonance // Phys. Rev. — 1968. — Vol. 175, №2. — P. 453 (См. русск. перевод в издании лекций Waugh J. 1978).

Гольданский В. И. Физическая химия позитрона и позитрония. — М., 1968 (*).

Эмсли Дж., *Финей Дж.*, *Сатклиф Л.* Спектроскопия ЯМР высокого разрешения (пер. с англ.) / Под ред. В. Ф. Быстрова и Ю. Н. Шейнкера. — М.: Мир. Т. 1, 1968. — 680 с. (Англоязычный оригинал — 1966.)

1969

Ingram D. J. E. Biological and biochemical applications of electron spin resonance. — London: Adam Hilger LTD, 1969. (См. русск. перевод, 1972.)

Байбл Р. Интерпретация спектров ядерного магнитного резонанса (эмпирический подход). Пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1969. — 224 с. См. *Bible R. H.* Interpretation of NMR spectra. An empirical approach. — N.Y.: Plenum Press, 1965.

Воеводский В. В. Физика и химия элементарных химических процессов. — М.: Наука, 1969. — 414 с. (+)

Туров Е. А., *Петров М. П.* Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках. — М.: Наука, 1969. — 260 с.

Эмсли Дж., *Финей Дж.*, *Сатклиф Л.* Спектроскопия ЯМР высокого разрешения. Пер. с англ. Под ред. В. Ф. Быстрова и Ю. Н. Шейнкера. — М.: Мир, Т. 2, 1969. — 468 с. (Англоязычный оригинал — 1966.)

1970

Abragam A., *Bleaney B.* Electron paramagnetic resonance of transition ions. — Oxford: Clarendon press, 1970. (См. русский перевод, 1970.)

Пул Ч. Техника ЭПР-спектроскопии, пер. с англ. Под ред. Л. Л. Декабруна. — М.: Мир, 1970 (*Poole C. P.* Electron spin resonance. A comprehensive treatise on experimental techniques. — Interscience, N.Y., 1967. — 922 p.)

(В этом переводе к фамилиям авторов некоторых статей в списке литературы добавлена вымышленная А. Абрагамом фамилия Underhouser. In Russian translation the fictitious A. Abraham surname Underhouser was added to the names of the authors of some articles in the list of literature.)

Федин Э. И. ЯМР и его применение в химических исследованиях // Успехи химии. — 1970. — Т. 39. — С. 839.

1971

Noggle J. H., *Schrimer R. E.* The nuclear Overhauser effect. Chemical applications. — N.Y.: Academic Press, 1971.

Winter J. Magnetic Resonance in metals. — Oxford Clarendon Press, 1971. (См. русский перевод 1975).

Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — 304 с.

Гортер К. Об электронной магнитной релаксации и резонансе // Парамагнитный резонанс 1944–1969. Всесоюзная юбилейная конференция (Казань, 24–29 июня 1969). — М.: Наука, 1971. — С. 15–25.

1972

Corio P.L., *Smith S.L.*, *Wasson J.R.* Nuclear Magnetic Resonance // Analytical Chemistry. — 1972. — Vol. 44, N 4(2). — R. 407–438. (Первый из обзоров, публикуемых каждые два года. The first of the reviews, published every two years.)

Levy G.C., *Nelson G.L.* Carbon-13 nuclear magnetic resonance for organic chemists. — N.Y., L., Sydney, Toronto: Wiley-Interscience. Division of John Willey & Sons, 1972. (См. русский перевод 1975 с дополненным списком литературы.)

Wertz J.E., *Bolton J.R.* Electron spin resonance. Elementary theory and practical application. N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1972. (См. русский перевод 1975.)

Абрагам А., *Блини Б.* Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов (пер. с англ.). Т. 1. — М.: Мир, 1972. — 682 с.; Т. 2. — М.: Мир, 1973. — 352 с. (*Abragam A.*, *Bleaney B.* Electron paramagnetic resonance of transition ions. — Oxford: Clarendon press, 1970.)

Альтшулер С.А., *Козырев Б.М.* Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. 2-е изд. перераб. — М.: Наука, 1972. — 672 с. (Библ. 2499 назв.)

Ацаркин В.А., *Родак М.И.* Температура спин-спиновых взаимодействий в электронном парамагнитном резонансе // УФН. — 1972. — Т. 107, вып. 1. — С. 1–27.

Гольдман М. Спиновая температура и ЯМР в твердых телах (пер. с англ.). — М.: Мир, 1972. — 342 с. См. *Goldman M.* Spin temperature and nuclear magnetic resonance in solids. — London: Oxford University Press, 1970.

Ингрэм Д. Электронный парамагнитный резонанс в биологии (пер. с англ.). — М.: Мир, 1972. — 296 с. См. *Ingram D.J.E.* Biological and biochemical applications of electron spin resonance. — London: Adam Hilger LTD, 1969.

Семин Г.К., *Бабушкина Т.А.*, *Якобсон Г.Г.* Применение ядерного квадрупольного резонанса в химии. — М.: Химия, 1972. — 164 с.

1973

NMR of paramagnetic molecules (Principles and applications). Ed. by G.N. La Mar et al. — N.Y.: Acad. Press. 1973. — 678 p.

Валиев К.А., *Иванов Е.Н.* Вращательное броуновское движение // УФН. — 1973. — Т. 109, вып. 1. — С. 31–64 ($^{+}$).

Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. — М.: Наука, Глав. Ред. Физматлит, 1973. — 591 с. Структурированная библиография 573 назв.

Дейген М. Ф. Электронный парамагнитный резонанс // УФН. — 1973. — 111. — С. 387–388.

Ройцин А.Б. Некоторые применения теории симметрии в задачах радиоспектроскопии. — Киев: Наукова думка, 1973. — 100 с.

Слоним И.Я., *Буслай А.Х.* Парамагнитные сдвигающие реактивы в ЯМР-спектроскопии // Успехи химии. — 1973. — Т. 42, № 11. — С. 1976–2006.

1974

Бородин П. М., *Игнатьев Ю. А.* ЯМР в жидких кристаллах // Ядерный магнитный резонанс. — Вып. V. — Л.: Изд-во ЛГУ. 1974. — С. 3.

1975

Jackman L. M., *Cotton F. A.* eds. Dynamic Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. — New York.: Academic Press, 1975.

Александров И. В. Теория магнитной релаксации. — М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. лит., 1975. — 399 с.

Вертц Дж., *Болтон Дж.* Теория и практические приложения метода ЭПР (пер. с англ.). — М.: Мир, 1975. — 548 с. (См. *Wertz J. E.*, *Bolton J. R.* Electron spin resonance. Elementary theory and practical application. — N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1972.)

Винтер Ж. Магнитный резонанс в металлах / Пер. с англ. А. П. Степанова, п.р. Скроцкого. — М.: Мир, 1976. — 288 с. См. *Winter J.* Magnetic Resonance in metals. — Oxford Clarendon Press, 1971. (Спиновый резонанс электронов проводимости, ЯМР и ЭПР на локализованных электронах).

Жидомиров Г. М., *Лебедев Я. С.*, *Добряков С. Н.*, *Штейншнейдер Н. Я.*, *Чирков А. К.*, *Губанов В. А.* Интерпретация сложных спектров ЭПР. — М.: Наука, 1975. — 216 с.

Леви Дж., *Нельсон Дж.* Руководство по ядерному магнитному резонансу углерода-13 для химиков-органиков (пер. с англ.). — М.: Мир, 1975. — 290 с. См. *Levy G. C.*, *Nelson G. L.* Carbon-13 nuclear magnetic resonance for organic chemists. — N.Y., L., Sydney, Toronto: Wiley-Interscience. Division of John Willey & Sons, — 1972. С приложением дополнит. списка литературы (свыше 200 наим.), сост. Н. М. Сергеев.

Показаньев В. Г., *Скроцкий Г. В.*, *Якуб Л. И.* Дипольное магнитное упорядочение в ядерных спин-системах // УФН. — 1975. — Т. 116, вып. 3. — С. 485–515.

1976

Haeberlen U. High resolution NMR in solids. Selective Averaging. — N.Y. San Francisco. London: Academic press, 1976. (Advances in magnetic resonance ed. by J. S. Waugh.) См. русский перевод в объединенной переводной монографии с Мерингом 1980.

Mehring M. High resolution NMR spectroscopy in solids. — Berlin. Heidelberg. New York: Springer–Verlag, 1976. (NMR basic principles and progress. Eds. *P. Diehl*, *E. Fluck*, *R. Kosfeld*.) См. русский перевод в объединенной переводной монографии с Хеберленом 1980.

Гуревич И. И., *Никольский Б. А.* Двухчастотная прецессия μ^+ мезона в атоме мюония // УФН. — 1976. — Т. 119, вып. 1. — С. 169–185. (*)

Салихов К. М., *Семенов А. Г.*, *Цветков Ю. Д.* Электронное спиновое эхо и его применение. — Новосибирск: Наука, 1976. — 344 с.

1977

Замараев К.И., *Молин Ю.Н.*, *Салихов К.М.* Спиновый обмен. Теория и физико-химические приложения. — Новосибирск: Наука, 1977. — 315 с.

Сагдеев Р.З., *Салихов К.М.*, *Молин Ю.М.* Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах // Успехи химии. — 1977. — Т. 46. — С. 569–601.

Сафин И.А., *Осокин Д.Я.* Ядерный квадрупольный резонанс азота. — Казанский физико-технический институт. Наука, 1977. — 255 с.

1978

Ацаркин В.А. Динамическая поляризация ядер в твердых телах // УФН. — 1978. — Т. 126, вып. 1. — С. 3–39.

Бучаченко А.Л., *Сагдеев Рен.З.*, *Салихов К.М.* Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. — М.: Наука, 1978. — 296 с.

Грачев В.Г., *Дейген М.Ф.* Двойной электронно-ядерный резонанс примесных центров в неметаллических кристаллах // УФН. — 1978. — 125. — С. 631–663.

Корст Н.Н., *Анциферова Л.И.* Исследование медленных молекулярных движений методом ЭПР стабильных радикалов // УФН. — 1978. — Т. 126, вып. 1. — С. 67–99.

Уо Дж. (*Waugh J.*). Новые методы ЯМР в твердых телах (пер. с англ. записи лекций). — М.: Мир, 1978. — 184 с. Приложение: *Хеберлен У.*, *Уо Дж.* Когерентное усреднение в магнитном резонансе. С. 132–178. См. *Haeberlen U.*, *Waugh J.* Coherent meaning in magnetic resonance // Phys. Rev. — 1968. — Vol. 175, №2. — P. 453.

1979

Ursu Ioan. Resonanţa magnetică în compoşi cu urani Editura Academiei Republicii Socialiste România 1979. — 235 s. (См. русский перевод 1983.)

Белоусов Ю.М., *Горелкин В.Н.*, *Микаэлян А.Л.*, *Милосердин В.Ю.*, *Смилга В.П.* Исследование металлов с помощью положительных мюонов // УФН. — 1979. — Т. 129, вып. 1. — С. 3–44.

Кессених А.В., *Штейншнейдер А.Я.* Спектроскопия магнитного резонанса в жидких кристаллах // Жидкие кристаллы (под ред. С.И. Жданова). — М.: Химия, 1979. — С. 216–260.

1980

Atsarkin V.A., *Vasneva G.A.*, *Mefed A.E.*, *Ryabushkin O.A.* The Enhanced Longitudinal Susceptibility Effect (ELSE) and its Applications in Magnetic Resonance // Bulletin of Magn. Reson. — 1980. — Vol. 1, №3. — P. 139–156.

Becker E.D. High Resolution NMR: Theory and Chemical Applications, 2nd Edn. — Academic, New York, 1980. — 354 p.

Bertini I. and *Drago R.S.* ESR and NMR of Paramagnetic Species in Biological and Related Systems, Kluwer, Boston, 1980. — 434 p.

Günther H. NMR Spectroscopy: An Introduction. — Wiley, New York, 1980. — 448 p.

Kaplan J. I. and *Fraenkel G.* NMR of Chemically Exchanging Systems. — Academic, New York, 1980. — 165 p.

Levy G. C., *Lichter R. L.*, and *Nelson G. L.* ^{13}C NMR Spectroscopy, 2nd Edn. — Wiley, New York, 1980. — 338 p.

Martin M. L., *Martin G. J.*, and *Delpuech J. J.* Practical NMR Spectroscopy. — Heyden, London, 1979. — 459 p.

Slichter C. P. Principles of magnetic resonance, 2nd Edition. — Springer, Berlin-Heidelberg-N.Y., 1980. — 657 p. (См. русск. перевод, 1981.)

Ацаркин В. А. Динамическая поляризация ядер в твердых диэлектриках. — М.: Наука, 1980. — 195 с.

Хеберлен У., *Меринг М.* ЯМР высокого разрешения в твердых телах (пер. с англ. Под ред. Э. Т. Липпмаа и Г. В. Скроцкого). — М.: Мир, 1980. — 504 с. См. две оригинальные монографии: 1) *Haeberlen U.* High resolution NMR in solids. Selective Averaging. — N.Y. San Francisco. London: Academic press, 1976. (Advances in magnetic resonance ed. by *J. S. Waugh*).

2) *Mehring M.* High resolution NMR spectroscopy in solids. — Berlin. Heidelberg. New York: Springer–Verlag, 1976. (NMR basic principles and progress. Eds. *P. Diehl*, *E. Fluck*, *R. Kosfeld*).

Эляшберг М. Е., *Грибов Л. А.*, *Серов В. В.* Молекулярный спектральный анализ и ЭВМ. — М.: Наука, 1980. — 308 с. ($^{+}$ Общие принципы цифровой обработки спектральных данных, включая методы распознавания образов. (General principles of digital processing of spectral data, including methods of pattern recognition.))

1981

Fuyuhiko Inagaki, *Tatsuo Miyazawa*. NMR analysis of molecular conformation and conformational equlibria with the lanthanide probe method // Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. — 1981. — Vol. 14. — P. 67–111.

Ацаркин В. А., *Скроцкий Г. В.*, *Сороко Л. М.*, *Федин Э. И.* ЯМР-интроскопия // УФН. — 1981. — Т. 135, вып. 1. — С. 285–315.

Глинчук М. Д., *Грачёв В. Г.*, *Дейген М. Ф.*, *Ройцин А. Б.*, *Суслин Л. А.* Электрические эффекты в радиоспектроскопии. Электронный парамагнитный, двойной электронно-ядерный и параэлектрический резонансы. — М.: Наука, 1981. — 336 с.

Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса, пер. с англ. п/ред. Скроцкого. — М.: Мир, 1981. (*Slichter C. P.* Principles of magnetic resonance, 2nd Edition. — Springer, Berlin–Heidelberg–N.Y., 1980. — 657 p.)

1982

Abragam A., *Goldman M.* Nuclear magnetism: order and disorder. — Oxford: Clarendon press, 1982. — 626 p. Энциклопедия новейших исследований магнитного резонанса в твердом теле, жидком гелии-3 и т. д.

(Encyclopedia of the newest studies of magnetic resonance in a solid, liquid helium-3, etc.) (См. русск. перевод, 1984.)

1983

Урсу И. Магнитный резонанс в соединениях урана / Пер. с рум. под ред. А. М. Прохорова. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 216 с. См. *Ursu Ioan.* Resonanţa magnetică în compoşi cu urani. — Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1979. — 235 s. (спец.)

1984

Абрагам А. и *Гольдман М.* Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок (пер. с англ.). — М.: Мир, Т. 1, 1984. — 300 с.; Т. 2, 1984. — 360 с. *Abragam A.*, *Goldman M.* Nuclear magnetism: order and disorder. — Oxford: Clarendon press, 1982. — 626 p.

Боровик-Романов А. С., *Буньков Ю. М.*, *Думеш Б. С.*, *Куркин М. И.*, *Петров М. П.*, *Чекмарёв В. П.* Спиновое эхо в системах со связанной ядерно-электронной прецессией // УФН. — 1984. — Т. 142, вып. 4. — С. 537–570.

1985

Аминов Л. К., *Теплов М. А.* Ядерный магнитный резонанс в редкоземельных ван-флековских парамагнетиках // УФН. — 1985. — Т. 147, вып. 1. — С. 49–82.

1987

Ernst R. R., *Bodenhausen G.*, *Wokaun A.* Principles of nuclear magnetic resonance in one and two dimensions. — Oxford: Clarendon press, 1987. — 610 pp. Энциклопелия новейших методов ЯМР высокого разрешения в жидкостях. (Encyclopedia of the latest high-resolution NMR methods in liquids.) (См. русск. перевод, 1990.)

1988

Боровик-Романов А. С. Антиферромагнитный резонанс // Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. — 1988. — Т. 1. — 704 с. С. 116–118.

Зельдович Я. Б., *Бучаченко А. Л.*, *Франкевич Е. Л.* Магнитно-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // УФН. — 1988. — Т. 155, вып. 1. — С. 3–45.

Кессених А. В. Спектроскопия ЯМР в химии координационных соединений // Физическая химия. Современные проблемы. Ежегодник. — М.: Химия, 1988. — С. 94–138.

1989

Burshtein A., *Semenov N. D.* Hydrogeological NMR-tomograph “HYDROSCOPE” // Science in the USSR. — 1989. — No 4. — P. 12–18.

1990

Derome A. E. Modern NMR techniques for chemistry research. Oxford — New York–Beijing–Frankfurt–Sao Paulo–Sydney–Tokyo–Toronto: Pergamon Press, 1990. — 280 p. Ценное практическое и теоретическое руководство по современным методам ЯМР высокого разрешения. (Valuable practical and theoretical guidance on modern high-resolution NMR methods.) (См. русск. перевод, 1992.)

Sergeyev N. M. Isotope effects on spin-spin coupling: experimental evidence // NMR Basic Principles and Progress. — 1990. — Vol. 22. — P. 31–80.

Радиоспектроскопия конденсированных сред. Памяти Б. М. Козырева / Под ред. М. М. Зарипова. — М.: Наука, 1990. — 293 с.

Эрнст Р., *Боденхаузен Дж.*, *Вокаун А.* ЯМР в одном и в двух измерениях (пер. с англ. под ред. К. М. Салихова). — М.: Мир, 1990. — 712 с. См. *Ernst R. R.*, *Bodenhausen G.*, *Wokaun A.* Principles of nuclear magnetic resonance in one and two dimensions. — Oxford: Clarendon press, 1987. — 610 p.

1991

Atsarkin V. A. Spin dynamics of paramagnetic impurities in solids // Magnetic resonance review UK. Gordon and Breach Science Publishers. — 1991. — Vol. 16. — P. 1–33.

Bastiaan E. W., *Mac Lean C.* Molecular orientation in High field high resolution NMR / NMR Basic Principles and Progress Eds. Springer Berlin et al. — 1991. — Vol. 25. — P. 17–43.

Martin M. L., *Martin G. L.* Deuterium NMR in the study of site specific natural isotope fractionation (SNIF–NMR) // NMR basic principles and progress (Eds. Diehl et al.) Berlin. — 1991. Springer. — P. 1–61.

1992

Bakharev O. N., *Dooglav A. V.*, *Egorov A. V.*, *Lutgemeier H.*, *Rodionova M. P.*, *Teplov M. A.*, *Volodin A. G.*, *Wagener D.* NMR studies of singlet-ground-state rare-earth ions in high-T_c superconductors // Appl. Mag. Reson. — 1992. — Vol. 3, No 3–4. — P. 613–640.

Гуревич И. И., *Пономарев А. Н.* Мюонной спиновой релаксации метод // Физическая энциклопедия. Т. 3. — М.: Большая российская энциклопедия, 1992. — С. 226–229. (*)

Дероум Э. Современные методы ЯМР для химических исследований (пер. с англ.). — М.: Мир, 1992. — 402 с. См. *Derome A. E.* Modern NMR techniques for chemistry research. — Oxford–New York–Beijing–Frankfurt–Sao Paulo–Sydney–Tokyo–Toronto: Pergamon Press, 1990. — 280 p.

Пономарев Л. И. Мюонный атом // Физическая. Т. 3. — М.: Большая российская энциклопедия, 1992. — С. 229. (*)

Пономарев Л. И. Позитроний // Физическая энциклопедия. Т. 3. — М.: Большая российская энциклопедия, 1992. — С. 671. (*)

Радиоспектроскопия твердого тела (сборник научных трудов АН Украины, посв. Памяти М. Ф. Дейгена) под ред. А. В. Ройцина. — Киев: Наукова думка, 1992. — 632 с. (портрет и краткая биография М. Ф. Дейгена).

Фаустов Р. Н. Мюоний // Физическая энциклопедия. Т. 3. — М.: Большая российская энциклопедия, 1992. — С. 225–226. (*)

1993

Ernst R. Nuclear Magnetic Resonance Fourier Transform Spectroscopy (Nobel Lecture) 1992 // Angewandte Chemie. International Edition in English. — 1993. — Vol. 31, No 7. — P. 805–823.

Гречишкин В. С., *Синявский Н. Я.* Локальный ЯКР в твердых телах // УФН. — 1993. — Т. 163, вып. 10. — С. 95–119. [*Grechishkin V. S.*, *Sinyavskii N. Ya.* Remote nuclear quadrupole resonance in solids // Phys. Usp. — 1993. — Vol. 36, No 10. — P. 980–1003.]

Магнитный резонанс в медицине под. ред. П. А. Ринка (пер. Э. И. Федина под ред. У. Айхоффа и В. Е. Синицына). Оригинал издан Oxford Blackwell Scientific Publication. Изд. 3-е. 1993. 244 с.

1994

Brinkmann D., *Mali M.* NMR-NQR studies of high-temperature superconductors // NMR Basic Principles and Progress, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg. — 1994. — Vol. 31. — P. 171–211.

1996

Berthier C., *Julien M. H.*, *Hotvatic M.*, *Berthier Y.* NMR studies of the normal state of high temperature superconductors // J. Phys. (France). — 1996. — Vol. 6. — P. 2205–2236.

Bertini I., *Luchinat C.* NMR of paramagnetic molecules // Coordination Chemistry Review. — 1996. — Vol. 150. — P. 1–292.

Dybowski C., *Bruch M. D.* Nuclear Magnetic Resonance // Analytical Chemistry. — 1996. — Vol. 68, N 5(R). — P. 161R–168R.

Encyclopedia of NMR. Vol. 1–8. — Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sons, 1996.

Goldman M. Low spin temperature NMR // Encyclopedia of NMR. Vol. 5. — Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sons, 1996. — P. 2857–2867.

Man P. P. Quadrupolar interactions // Encyclopedia of NMR. — Vol. 6. Chichester, New-York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sons, 1996. — P. 3838–3848.

Peters J. A., *Huskens J.*, *Raber D. J.* Lanthanide induced shifts and relaxation rate enhancement // Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. — 1996. — Vol. 28. — P. 283–350.

Wütrich K. Biological macromolecules structure determination in solution // Encyclopedia of NMR. Vol. 2. — Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singaporo: John Wiley & Sons, 1996. — P. 932–939.

Ацаркин В. А. Спиновая температура // Физическая энциклопедия. — М.: «Большая российская энциклопедия», Т. 4, 1996. — С. 633.

Гречишкин В. С., *Шпилевой А. А.* Косвенные методы изучения ядерных квадрупольных взаимодействий в твердых телах // УФН. — 1996. — Т. 166. — С. 763–776. [*Grechishkin V. S.*, *Shpilevoi A. A.* Indirect methods for studying nuclear quadrupole interactions in solids // Phys. Usp. — 1996. — Vol. 39. — P. 713–725.]

1997

Freeman R. Spin Choreography. Basic Steps in High Resolution NMR Spektrum. — Oxford.: Academic Press, 1997.

Hoff A. J., *Deisenhofer J.* Photophysics of photosynthesis // Phys. Reports. — 1997. — Vol. 28. — P. 1.

Гречишкин В. С., *Синявский Н. Я.* Новые физические технологии: обнаружение взрывчатых и наркотических веществ методом ядерного квадрупольного резонанса // УФН. — 1997. — Т. 167. — С. 413–427. [*Grechishkin V. S.*, *Sinyavskii N. Ya.* New technologies: nuclear quadrupole resonance as an explosive and narcotic detection technique // Phys. Usp. — 1997. — Vol. 40. — P. 393–406.]

1998

Doreleijers J. F., *Rullman J. A. C.*, *Kaptein R.* Quality accessements of NMR structures: a statistical survey // J. Mol. Biol. — 1998. — Vol. 281. — P. 149–164.

Greenberg Y. S. Application of superconducting quantum interference devices to nuclear magnetic resonance // Rev. Mod. Phys. — 1998. — Vol. 70. — P. 175–222.

Rigamonti A., *Borsa F.*, *Caretta P.* Basic aspects and main results of NMR-NQR spectroscopies in high-temperature superconductors // Rep. Prog. Phys. — 1998. — Vol. 61. — P. 1367–1439.

Гуревич А. Г. Ферримагнитный резонанс // Физическая энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия. — 1998. — Т. 5. — 760 с. С. 290–292.

Гуревич А. Г. Ферромагнитный резонанс // Физическая энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия. — 1998. — Т. 5. — 760 с. С. 306–310.

2001

Spin Electronics. M. Ziese and M. J. Thornton (Eds). — Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. — 493 p;

Валиев К. А., *Кокин А. А.* Гл. 4. Жидкостные ЯМР квантовые компьютеры. С. 121–227; Гл. 5. Твердотельные ЯМР квантовые компьютеры. С. 228–285 // Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 352 с.

2002

Шахатуни А. А., *Шахатуни А. Г.* Определение трехмерной структуры слабо ориентированных биомолекул методом спектроскопии ЯМР // Успехи химии. — 2002. — Т. 71. — С. 1132.

2004

Suter A. The magnetic resonance force microscope // Progress in nuclear magnetic resonance spectroscopy. — 2004. — Vol. 45. — P. 239–274.

Моргунов Р. Б. Спиновая микромеханика в физике пластичности // УФН. — 2004. — Т. 174, № 2. — С. 131–153.

2005

Алексеев А. Д., Ульянова Е. В., Василенко Т. А. Возможности ЯМР в исследовании физических процессов в ископаемых углях // УФН. — 2005. — Т. 175, № 11. — С. 1217–1232.

Анисимов Н. В., Пирогов Ю. А., Губский Л. В., Гладун В. В. Управление контрастом и информационные технологии в магнитно-резонансной томографии. — М.: Физфак МГУ, 2005. — 144 с.

Крушельницкий А. Г. Обменная спектроскопия твердого тела: применение для изучения крупномасштабной конформационной динамики биополимеров // УФН. — 2005. — Т. 175, № 8. — С. 815–832.

Лотербур П. К. Вся наука междисциплинарна — от магнитных моментов до молекул и человека (Нобелевская лекция 2003 г., пер. с англ.) // УФН. — 2005. — Т. 175, № 10. — С. 1040–1043. Лекция одного из основателей магнитно-резонансной томографии.

2006

Berman G. P., Borgonovi F., Gorshkov V. N., Tsifrinovich V. I. Magnetic resonance force spectroscopy and a single-spin measurement. — New Jersey, London, Bejing etc.: World Scient. Publishing, 2006. — 225 p.

Кессених А. В. Историография и библиография магнитного резонанса // Исследования по истории физики и механики (ИИФМ). 2005. — М.: Наука, 2006. — С. 219–281.

2007

Лундин А. Г., Зорин В. Е. Ядерный магнитный резонанс в конденсированных средах // УФН. — 2007. — Т. 177, № 10. — С. 1107–1132.

2014

Кравченко Э., Кузнецов Н., Новоторцев В. Ядерный квадрупольный резонанс координационных соединений. — М.: Красанд, 2014. — 272 с. ISBN978–5–396–00620–1

III. Справочные материалы в Интернете

Web site: “Nobel prize winners archive”: http://www.almaz.com/nobel/

Web site: “Groupement AMPERE”: https: // www.ampere-society.org/

Web site: “ISMAR” (International Society of Magnetic Resonance): http://www.weizmann.ac.il/ISMAR/

Web site: “IES” (the International EPR (ESR) Society): http://www.ieprs.org/

Web site: International Society for Magnetic Resonance in Medicine: https:// www.ismrm.org/

Web site: NMR monographs. Collection of References edited by Stanislav Sýkora: http://www.ebyte.it/library/refs/Refs_NMR_Books.html. The page DOI: 10.3247/SL1Refs05.003.

Сайты журналов:

Web site: EUROMAR: http://www.euromar.org/about.html

Web site: European Federation of EPR groups (EFEPR): http://efepr.uantwerpen.be/efepr/

Web site: The Journal of Magnetic Resonance (the official journal of the ISMAR) https://www.journals.elsevier.com/journal-of-magnetic-resonance

Web site: Solid State Nuclear Magnetic Resonance: https: // www.journals.elsevier.com/solid-state-nuclear-magnetic-resonance

Web site: Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy: https://www.journals.elsevier.com/progress-in-nuclear-magnetic-resonance-spectroscopy

Web site: Journal of Magnetic Resonance Imaging (the official journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine): https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15222586

Web site: Magnetic Resonance in Medicine (the official journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine): https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15222594

Web site: Journal of Biomolecular NMR: https://link.springer.com/journal/10858

Web site: Applied Magnetic Resonance: https://link.springer.com/journal/723

Web site: Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine: https://link.springer.com/journal/10334

Web site: http://www.euromar.com/

IV. Оригинальные статьи до 1944 г.

IV.A. Работы, развивавшие основы магнитного резонанса

1896

Larmor J. The influence of a magnetic field on radiation frequency // Proceedings of the Royal Society. — 1896. — Vol. 60. — P. 514. Теорема Лармора, ларморовская прецессия (larmor’s theorem, larmor precession).

1897

Zeeman P. On the influence of magnetism on the nature of the light emitted by substance // Philosophical Magazine. — 1897. — Vol. 43. — P. 226–239.

Эффект Зеемана, расщепление оптических линий в магнитном поле. (The Zeeman effect, the splitting of optical lines in a magnetic field.)

1921

Landé A. Über den anomalen Zeemaneffekt // Zschr.f. Phys. — 1921. — Bd. 5. — S. 231–241; Bd. 7. — S. 398–405.

1922

Stern O., *Gerlach W.* Der experimentelle Nachweis des magnetischen Moments des Silberatoms // Zschr. F. Physik. — 1922. — Bd. 8. — S. 110–111.

Einstein A., *Ehrenfest P.* Quantentheoretische Bemerkungen zum Experiment von Stern und Gerlach // Zschr. Phys. — 1922. — Bd. 11. — S. 31–34. Первое предположение о существовании магнитного резонанса. (The first assumption of the existence of magnetic resonance). (См. *Эйнштейн А.*, *Эренфест П.* Квантово-теоретические замечания к опыту Штерна–Герлаха // Эйнштейн А. Собрание научных трудов Т. III. — М.: Наука, 1966. — С. 442–445.)

1923

Landé A. Termstruktur und Zeemaneffekt der Multiplets // Zschr. f. Phys. — 1923. — Bd. 15. — S. 189–205; Bd. 19. — S. 112–123.

1924

Pauli W. Zur Frage der theoretischen Deutung der Satelliten einiger Spectrallinien und ihrer Beeinflussung durch magnetische Felder // Naturwissenschaften. — 1924. — Bd. 12. — S.741–743. Предположение о наличии магнитного момента у некоторых ядер. (The assumption of the presence of a magnetic moment for some nuclei.)

1925

Hund F. Zur Deutung verwickelter Spektren, insbesonders der Elemente Scandium bis Nickel // Zschr.f. Phys. — 1925. — Bd. 33. — S. 345–371.

1926

Uhlenbeck G. E., *Goudsmit S.* Spinning electrons and the structure of spectra // Nature. — 1926. — Vol. 113, N2938. — P. 264–265. Обоснование гипотезы о наличии электронного спина. (Justification of the hypothesis of the existence of electron spin.)

1927

Hund F. Zur Deutung der Molekelspektren II // Zschr. F. Phys. — 1927. — Bd. 42. — S. 93–120.

Dennison D. M. A note on the specific heat of the hydrogen molecule // Proc. of the Royal Society. London (A). — 1927. — Vol. 115. — P. 483–485. (Учет

спинов ядер в статистической механике молекул. (The role of nuclear spins in the statistical mechanics of molecules.))

Pauli W. Zur Quantuenmechanik des magnetischen Electrons // Zeitschrift fur Physik. — 1927. — Bd. 43. — S. 601–623. Известные уравнения Паули.

1929

Bethe H. Termaufspaltung in Kristallen // Ann.d.Phys. Folge 5. — 1929. — Bd. 3. — S. 133.

Kramers H. La rotation paramagnetique du plan de polarisation dans les cristaux uniaxes de terres rares // Proc. Amst. Acad. — 1929. — Vol. 32, Nr. 9. — P. 1176–1189.

1930

Fermi E. Über die magnetischen Momente der Atomkerne // Zschr. F. Phys. — 1930. — Bd. 60. — S. 320–333. Теория сверхтонкого (контактного) взаимодействия электронного спина с ядерным спином.

Kramers H. A. // Proc. Acad. Sci. Amsterdam. — 1930. — Vol. 33. — P. 959.

Dorfman J. Zur Frage Über die magnetischen Momente der Atomkerne // Zs. Phys. — 1930. — Bd. 62, H. 1–2. — S. 90–94. Работа опиралась на ошибочную гипотезу о наличии в структуре ядра электронов. (The work relied on the erroneous hypothesis of the presence in the structure of the nucleus of electrons.)

Weisskopf V., *Wigner E.* Über die natürliche Linienbreite in der Strahlung des harmonischen Oscillators // Zs.f. Phys. — 1930. — Bd. 65. — S. 18–29 ($^+$ Общая теория ширины линий при излучении осцилляторов. (The general theory of the line widths at the oscillator radiation.))

1932

Van Vleck J. H. Theory of the variation in paramagnetic anisotropy among different salts of the iron group // Phys. Rev. — 1932. — Vol. 41, No 1. — P. 208–215.

Waller I. Über die Magnetisierung von paramagnetischen Kristallen in Wechselfeldern // Zschr. F. Phys. — 1932. — Bd. 79, H. 2. — S. 370–388.

1933

Frisch R., *Stern O.* Über die magnetische Ablenkung der Wasserstoffmolekülen in magnetischen Felder und magnetische Moment des Protons // Zs. Phys. — 1933. — Bd. 85, H 1–2. — S. 4–16. См. также след. работу.

Estermann I., *Stern O.* Über die magnetische Ablenkung der Wasserstoffmolekülen in magnetischen Felder und magnetische Moment des Protons. 2 // Zs. Phys. — 1933. — Bd. 85, H 1–2. — S. 17–26. Две последних статьи стали основанием для присуждения О. Штерну Нобелевской премии за открытие магнитного момента протона. (The last two articles became the basis for awarding O. Stern the Nobel Prize for discovering the magnetic moment of a proton.)

1934

Landé A. Nuclear magnetic moments and their origin // Phys. Rev. — 1934. — Vol. 46, №6. — P. 477–480.

Тамм И.Е., *Альтшулер С.А.* Магнитный момент нейтрона // ДАН СССР. — 1934. — Т. 1, №8. — С. 455–460 (+ Теория опирается на сравнение магнитных моментов и масс дейтона и протона. (The theory relies on a comparison of the magnetic moments and masses of the deuteron and proton.))

1935

Dorfman J. Magnetic properties and nuclear magnetic moments // Phys. Zs. UdSSR. — 1935. — B. 7, H. 1. — S. 126–127.

Landau L.D., *Lifschitz E.M.* Zur Theorie der Dispersion der magnetische Permeabilität der ferromagnetische Körpern // Phys. Zschr.d. Sowjetunion. — 1935. — Bd. 8. — S. 153–166. См. перевод *Ландау Л.Д.* К теории дисперсии магнитной проницаемости ферромагнитных тел (совместно с *Лифшицем Е.М.*) // Собр. соч. Л.Д. Ландау. — М.: Наука, 1969. — С. 128–143.

1936

Gorter C.J. Paramagnetic relaxation in a transversal magnetic field // Physica. — 1936. — Vol. 3, No9. — P. 1006–1008.

Heitler W., *Teller E.* Time effect in the magnetic cooling method. I // Proc. Roy. Soc. — 1936. — Vol. 155A, No 886. — P. 629–639. Расчет времени релаксации ядерных магнитных моментов в абсолютно чистом от парамагнитных примесей кристаллическом диамагнетике в отсутствие диффузионных процессов показал, что наблюдение ЯМР в таких «стерильных» условиях практически невозможно. (The calculation of the relaxation time of nuclear magnetic moments in a crystal diamagnet, which is absolutely pure from paramagnetic impurities in the absence of diffusion processes, has shown that observation of NMR in such “sterile” conditions is practically impossible.)

1937

Lasarew B.G., *Schubnikow L.W.* Das Magnetische Moment des Protons // Phys. Zsch. Sowjetunion. — 1937. — Bd. 11, H. 4. — S. 445–457. Непосредственное измерение магнитного момента образца твердого водорода. (Direct measurement of the magnetic moment of a sample of solid hydrogen.)

Jahn H.A., *Teller E.* Stability of polyatomic molecules in degenerate electronic states // Proc. Roy. Soc. London Ser. A. — 1937. — Vol. 161, №905. — P. 220–235.

Rabi I.I. Space Quantization in a Gyrating Magnetic Field // Phys. Rev. — 1937. — Vol. 51. — P. 652–654. (Magnetic resonance in molecular beams proposed to measure angular moments. S.S.)

1938

Casimir H. B. G., du Pré F. K. Note on the thermodynamic interpretation of paramagnetic relaxation phenomena // Physica. — 1938. — Vol. 5, No 6. — P. 507–511.

Kronig R. de L. On the theory of absorption and dispersion in paramagnetic and dielectric media // Physica. — 1938. — Vol. 5, No 2. — P. 65–80. (+)

Kronig R. de L., Browkamp C. J. On the time of relaxation due to spin-spin interaction in paramagnetic crystals // Physica. — 1938. — Vol. 5, No 6. — P. 521–528.

Rabi I. I. Space quantitization in a gyrating magnetic field // Phys. Rev. — 1938. — Vol. 51, No 8. — P. 526–535.

1939

Casimir H. B. G. On the equilibrium between spin and lattice // Physica. — 1939. — Vol. 6, No 2. — P. 156–160.

Casimir H. B. G., De Haas W. J., De Klerk D. A new method for determining specific heats at extremely low temperatures // Physica. — 1939. — Vol. 6, No 3. — P. 255–261.

1940

Bloch F., Siegert A. Magnetic resonance for nonrotating fields // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57, № 6. — P. 522–527. Работа основана на представлении линейно поляризованного магнитного поля как суммы двух полей, вращающихся в противоположных направлениях. Вводит понятие о сдвиге частоты резонанса (впоследствии сдвиг Блоха – Зигерта). (The work is based on the representation of a linearly polarized magnetic field as a sum of two fields rotating in opposite directions. Introduces the notion of the resonance frequency shift (subsequently the Bloch-Siegert shift.))

1941

Van Vleck J. H. Paramagnetic relaxation and the equilibrium of lattice oscillators // Phys. Rev. — 1941. — Vol. 59. — P. 426–447.

IV.2. Исследования парамагнитной и ферромагнитной дисперсии и абсорбции и других эффектов взаимодействия поля с веществом. (Магнитная дисперсия)

1913

Аркадьев В. К. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле // ЖРФХО. — 1913. — Т. 45, вып. 6. — С. 312–345. (См. также в сборнике *Аркадьев В. К.* Избранные труды. — М: Изд-во АН СССР, 1961. — С. 65–90.); *Arkadiew W.* Über die Absorption elektromagnetischer Wellen an zwei parallelen Drähten // Ann. Phys. — 1919. — Folge 4, Bd. 58, H. 2. — S. 105–138.

1921

Gans R., *Loyarte R.* Die Permeabilität des Nickels fur schnelle electrische Schwingunen (nach Messungen von Loyarte) // Annalen der Physik. — 1921. — Folge 4, Bd. 64, H. 3. — S. 209–249.

Gans R. // Annalen der Physik. — 1921. — Folge 4, Bd. 64, H. 3. — S. 250–252.

1923

Dorfmann J. Einige Bemerkungen zur Kenntnis des Mechanismus magnetischer Erscheinungen // Zsch. Phys. — 1923. — Bd. 17. — S. 98–111. (Долгое время эту работу сам автор и некоторые советские историки науки считали теоретическим предсказанием (открытием) магнитного резонанса (фотомагнитного эффекта). Фактически работа содержала грубо качественную интерпретацию работ В.К. Аркадьева и Р. Лоярте на основании предсказания эффекта магнитного резонанса А. Эйнштейном и П. Эренфестом [IV.A. Einstein 1922].)

1932

Завойский Е.К., *Винник П.М.* Авторское свидетельство 28546 СССР. Устройство для приема и детектирования электрических колебаний. №99471. Заявлено 14.12.31. Опубликовано 31.12.32. ([b]).

1936

Gorter C.J. Negative result of an attempt to detect nuclear magnetic spins // Physica. — 1936. — Vol. 3, №9. — P. 995–998. (Неудачная попытка применить для наблюдения ЯМР калориметрию. (An unsuccessful attempt to apply calorimetry for the NMR observation.))

Gorter C.J. Paramagnetic relaxation in a transversal magnetic field // Physica. — 1936. — Vol. 3, №9. — P. 1006–1009.

Завойский Е.К. Метод измерения потенциалов возбуждения атомов и молекул // ЖЭТФ. — 1936. — Т. 6, №1. — С. 37–51. ([b])

Завойский Е.К., *Козырев Б.М.*, *Салихов С.Г.* Измерение абсорбции слабых электрических полей высокой частоты некоторыми веществами в зависимости от напряжения этих полей // ДАН СССР. — 1936. — Т. 1, №5. — С. 214–216. ([b] Интерпретация результатов измерений в этой работе была неверной, что было замечено М.А. Леонтовичем и дало ему основание через 8 лет сомневаться в открытии Завойским ЭПР.)

1939

De Haas W.J., *du Pré F.K.* Paramagnetic relaxation in gadolinium sulphate // Physica. — 1939. — Vol. 6, No 8. — P. 705–716.

1942

Gorter C.J., *Broer L.J.F.* The Negative Results of an Attempt to observe Nuclear Magnetic Resonance // Physica. — 1942. — Vol. 9. — P. 591–596.

(Неудачная попытка применить для наблюдения ЯМР метод генератора слабых колебаний. (An unsuccessful attempt to apply for the NMR observation the method of a generator of weak oscillations.))

1943

Broer L. J. F., *Dijkstra L. J.*, *Gorter C. J.* Paramagnetic relaxation in two hydrated nickel salts // Physica. — 1943. — Vol. 10, No 5. — P. 324–330.

Dijkstra L. J., *Gorter C. J.*, *Volger J.* Further researches on paramagnetic absorption in iron ammonium alum // Physica. — 1943. — Vol. 10, No 5. — P. 337–347.

IV.3. Магнитный резонанс в молекулярных пучках

1938

Rabi I. I., *Zacharias J. R.*, *Millman S.*, *Kush P.* A new method of measuring nuclear magnetic moment // Phys. Rev. — 1938. — Vol. 53, No 4. — P. 318. Впервые зарегистрирован ядерный магнитный резонанс в молекулярных пучках. (For the first time, nuclear magnetic resonance has been detected in molecular beams.)

Rabi I. I., *Millman S.*, *Kusch P.*, *Zacharias J. R.* Magnetic moments of $_3Li^6$, $_3Li^7$ and $_9F^{19}$ // Phys. Rev. — 1938. — Vol. 52, No 6. — P. 495.

1939

Rabi I. I., *Millman S.*, *Kusch P.*, *Zacharias J. R.* The molecular beam resonance method for measuring of nuclear magnetic moments // Phys. Rev. — 1939. — Vol. 55, No 6. — P. 526–535.

1940

Alvarez L. W., *Bloch F.* A quantitative determination of the neutron moment in absolute nuclear magnetons // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57, No 2. — P. 111–122. Магнитный резонанс в пучке нейтронов. (Magnetic resonance in a neutron beam.)

Kush P., *Millman S.*, *Rabi I. I.* Radiofrequency spectra of atoms. Abstracts of American Physical Society Meeting. December 28–30, 1939, Columbus, Ohio // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57. — P. 352 A.

Kush P., *Millman S.*, *Rabi I. I.* Radiofrequency spectra of atoms. Hyperfine structure and Zeeman effect in the ground state of Li^6, Li^7, K^{39} and K^{41} // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57. — P. 765–780. Последние две (а также две последующих) работы продемонстрировали ЭПР атомов щелочных металлов в атомных пучках. (The last two (and also two subsequent) studies have demonstrated the EPR of alkali metal atoms in atomic beams.)

Kellog J. M. B., *Rabi I. I.*, *Ramsay N. F.*, *Zacharias J. R.* An electrical quadrupole moment on the deutron. The radiofrequency spectra of HD and D_2 molecules in a magnetic field // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 57, No 7. — P. 677–695.

Kush P., *Millman S.* On the radiofrequency spectra of sodium, rubidium and caesium // Phys. Rev. — 1940. — Vol. 58. — P. 438–445.

1947

Nierenberg W.A., *Ramsay N.F.* The radiofrequency spectra of the sodium halides // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 5. — P. 1075–1087.

1948

Bardeen J., *Townes C.H.* Calculation of Nuclear Quadrupole Effects in Molecules // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73. — P. 97–105. (Done for molecular beam experiments, this paper very accurately handles NQR effects S.S.)

1949

Kush P., *Mann A.K.* A precision measurement of the ratio of the nuclear g-values of Li^7 and Li^6 // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76, No 6. — P. 707–709.

Taub H., *Kush P.* The magnetic moment of the proton // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 10. — P. 1418–1492.

1956

Ramsey N.F. Molecular Beams. — Oxford University Press, 1956. — 490 p. См. также раздел «Обзоры и монографии» ($^+$)

IV.4. Оригинальные статьи с 1944 г. Магнитный резонанс и парамагнитная релаксация в конденсированных средах

1944

Zavoisky E.K. The paramagnetic absorption of a solution in parallel fields // J. Phys. — 1944. — Vol. 8, No 6. — P. 377–380.

Завойский Е.К., *Альтшулер С.А.*, *Козырев Б.М.* Новый метод исследования парамагнитной абсорбции // ЖЭТФ. — 1944. — Т. 14, № 10–11. — С. 407–409. Завойский сообщает в частности и о наблюдении ЭПР, отдавая дань своим коллегам, с которыми он начинал эти исследования. (Zavoisky reports in particular about the observation of EPR, paying tribute to his colleagues with whom he started these studies.)

1945

Van Vleck J.H., *Weisskopf V.F.* On the shape of collision-broadening lines Rev. Mod. Phys. — 1945. — Vol. 17, No 2/3. — P. 227–236. (К теории формы спектральных линий, уширенных по диссипативному механизму.$^+$)

Zavoisky E.K. Paramagnetic relaxation of liquid solution for perpendicular fields // J. Phys. USSR. — 1945. — Vol. 9, No 3. — P. 211–216.

Zavoisky E.K. Spin magnetic Resonance in paramagnetics // J. Phys. USSR. — 1945. — Vol. 9, No 3. — P. 245. Эта заметка служит подтверждением приоритета Завойского в открытии ЭПР на мировом уровне. (This note serves as a confirmation of Zavoisky's priority in the discovery of EPR at the world level.)

Zavoisky E.K. On the absence of anisotropy for spin-magnetic resonance // J. Phys. USSR. — 1945. — Vol. 9. — P. 245. — No 5. — P. 447–448. Вывод относится только к исследованным в первых работах концентрированным парамагнетикам. (The conclusion applies only to the concentrated paramagnets studied in the first papers.)

Завойский Е.К. Парамагнитная абсорбция в растворах при параллельных полях // ЖЭТФ. — 1945. — Т. 15, № 6. — С. 253–257. ([b])

Завойский Е.К. Парамагнитная релаксация жидких растворов в перпендикулярных полях // ЖЭТФ. — 1945. — Т. 15, № 7. — С. 344–350.

Френкель Я.И. К теории релаксационных потерь, связанных с магнитным резонансом в твердых телах // ЖЭТФ. — 1945. — Т. 15. — С. 409–416. (Работа не содержит указания на механизмы уширения линий ЭПР, чисто феноменологически предполагая их диссипативную природу.[histR]).

1946

Bloch F., Hansen W.W., Packard M. Nuclear Induction // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69, № 3. — P. 127. (Открытие ЯМР протонов в водном растворе парамагнетиков. Эта работа поступила в редакцию несколько позднее работы Парселла.)

Bloch F. Nuclear induction // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70, No 7/8. — P. 460–474. В частности, для описания ЯМР предложены уравнения Блоха.

Bloch F., Hansen W.W., Packard M.E. Nuclear Induction Experiments // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70, No 7–8. — P. 474–485.

Cummerow R.L., Halliday D. Paramagnetic losses in two manganous salts // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70, No 5–6. — P. 433. Первая работа по ЭПР на Западе. Ссылается на открытие ЭПР Завойским. (The first work on EPR in the West. Refers to the discovery of the EPR by Zavoisky.)

Fröhlich H. Shape of collision broadened spectral lines // Nature. — 1946. — Vol. 157, No 3989. — P. 478. (Общая теория диссипативного механизма уширения спектральных линий. [+]).

Griffiths J.H.E. Anomalous high frequency resistance of ferromagnetic metals // Nature. — 1946. — Vol. 158, No 4019. — P. 670. Независимое от Завойского наблюдение ферромагнитного резонанса. См. *Гриффитс Д.* Аномальное высокочастотное сопротивление ферромагнитных материалов // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С.В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 133–135.

Pound R.V., Purcell E.M., Torrey H.C. Measurements of Magnetic Resonance Absorption by Nuclear Moments in Solids // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69. — P. 681. (Comm. to the Am. Phys. Soc.)

Purcell E.M. Spontaneous Emission Probabilities at Radio Frequencies // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69. — P. 681. (Comm. to the Am. Phys. Soc. First estimate of radiation damping. S.S.)

Purcell E.M., Torrey H.C., Pound R.V. Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69, No 1–2. — P. 37–38.

Первая по времени публикация о наблюдении ЯМР в конденсированной среде (парафин).

Purcell E. M., Bloembergen N., Pound R. V. Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Single Crystal of CaF_2 // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 70. — P. 988–988. Наблюдение и теория зависимости ширины и частоты сигнала ЯМР от ориентации кристалла. (Observation and theory of orientation dependence in solids. S.S.)

Purcell E. M., Pound R. V., Bloembergen N. Nuclear Magnetic Resonance Absorption in Hydrogen Gas // Phys. Rev. — 1946. — 70. — P. 986–987.

Rollin B. V. Nuclear magnetic resonance and spin lattice equilibrium // Nature. — 1946. — Vol. 158, No 4019. — P. 669–670. (CaF_2. Clarendon lab. Oxford.)

Torrey H. C. Theory of Magnetic Resonance Absorption by Nuclear Moments in Solids // Phys. Rev. — 1946. — Vol. 69. — P. 680. (Comm. to the m. Phys. Soc. S.S.)

Zavoisky E. K. Paramagnetic absorption in some salts in perpendicular magnetic fields // J. Phys. of USSR. — 1946. — Vol. 10, No 2. — P. 170–173.

Zavoisky E. K. Spin-magnetic resonance in the decimeter wave region // J. Phys. — 1946. — Vol. 10, No 2. — P. 197–198. (Работа выполнена в Институте физ. проблем при поддержке А. И. Шальникова.)

Завойский Е. К. Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных полях для некоторых солей // ЖЭТФ. — 1946. — Т. 16, № 7. — С. 603–606.

1947

Anderson H. L., Novick A. Magnetic moment of the triton // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 71, No 3. — P. 372–373.

Bloch F., Groves A. C., Packard M., Spence R. W. Spin and magnetic moment of tritium // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 71, No 3. — P. 373–374.

Bloch F., Levinthal E. C., Packard M. E. Relative Nuclear Moments of H_1 and H_2 // Phys. Rev. — 1947. — 72. — P. 1125–1126.

Cummerow R. L., Halliday D., Moore G. E. Paramagnetic resonance absorption in salts of the iron group // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 12. — P. 1233–1240.

Gorter C. J., Van Vleck J. H. The role of exchange interaction in paramagnetic absorption // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 10. — P. 1128–1129. Ван Флек помог Гортеру разобраться, почему Завойскому удалось наблюдать ЭПР в концентрированных парамагнетиках. Учтена роль обменного взаимодействия между электронами.

Hopkins N. J. The demonstration of nuclear magnetic resonance // Amer. J. Phys. — 1949. — Vol. 17, No 8. — P. 518.

Kittel C. Interpretation of anomalous Larmor frequencies in ferromagnetic resonance experiments // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 71, No 4. — P. 270–271. (См. *Киттель Ч.* Объяснение аномалии ларморовских частот в опытах по ферромагнитному резонансу // Ферромагнитный резонанс и поведение ферро-

магнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 43–45.)

Pound R. V. Radiofrequency spectrometer for the detection of resonance absorption by nuclear moments // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 3. — P. 527. (Am. Phys. Soc. 19–21 Juny 1947.)

Roberts A. Two New Methods for Detecting Nuclear Radiofrequency Resonance Absorption // Rev. Sci. Instrum. — 1947. — Vol. 18. — P. 845.

Roberts A. The Magnetic Moment of the Deuteron // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72. — P. 979–979. (First observation of “wiggles” he coined the term S.S.) (Вводится термин «вигли» (крылья) для колебаний в спектрометре ЯМР после быстрого прохождения резонанса.)

Yager W. A. and *Bozorth R. M.* Ferromagnetic Resonance at Microwave Frequencies // Phys. Rev. — 1947. — Vol. 72, No 1. — P. 80–81. См. перев. *Ягер В.*, *Бозорт Р.* Ферромагнитный резонанс при сантиметровых волнах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 135–137.

Zavoisky E. K. Decimeter-wave measurements of the magnetic susceptibility of paramagnetic compounds // J. Phys. of USSR. — 1947. — Vol. 11, No 2. — P. 184–189.

Альтшулер С. А., *Завойский С. А.*, *Козырев Б. М.* К теории парамагнитной релаксации в перпендикулярных полях // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17, вып. 12. — С. 1122–1123.

Владимирский К. В. О колебательных явлениях в парамагнетизме ядер // ДАН СССР. — 1947. — Т. 58, № 8. — С. 1625–1628. ([histR.] Первая работа по ЯМР в Советском Союзе.)

Завойский Е. К. Измерение магнитной восприимчивости парамагнетиков на дециметровых волнах // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17, № 2. — С. 155–161.

Завойский Е. К. Магнитоспиновый резонанс в ферромагнетиках на сантиметровых волнах // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17, № 10. — С. 883–888. Независимое от Гриффитса открытие ферромагнитного резонанса.

Завойский Е. К. Определение магнитных и механических моментов атомов в твердых телах // ДАН. — 1947. — Т. 57, № 9. — С. 887–888.

Козырев Б. М., *Салихов С. Г.* Парамагнитная релаксация в пентафенилциклопентадиениле // ДАН СССР. — 1947. — Т. 58, № 6. — С. 1023–1025.

Первое наблюдение сверхтонкой структуры ЭПР.

1948

Birks J. B. The measurement of the permeability of low-conductivity materials at centimeter wavelength // Proc. Phys. Soc. — 1948. — Vol. 60, No 3. — P. 282–292. (См. *Биркс Дж.* Измерение проницаемости ферромагнитных материалов с низкой проводимостью при сантиметровых волнах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 229–241 (*).)

Birks J. B. Natural and Induced Ferromagnetic Resonance // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 8. — P. 988–989. (См. *Биркс Дж.* Естественный ферромагнитный резонанс и резонанс в присутствии постоянного внешнего поля // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 228–229.)

Bleaney B., *Penrose R. P.* Paramagnetic resonance at low temperature in chromium alum // Proc. Phys. Soc. — 1948. — Vol. 60, No 4 (340). — P. 395–396.

Bloch F., *Nicodemus D.*, *Staub H. H.* A Quantitative Determination of the Magnetic Moment of the Neutron in Units of the Proton Moment // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74. — 1025–1045. ($^+$)

Bloembergen N., *Purcell E. M.*, *Pound R. V.* Relaxation effects in nuclear magnetic absorption // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73, No 7. — P. 679–691. (*Introduction of the BPP relaxation formula, including a factor 2 error. S.S.*)

Karplus R. Frequency Modulation in Microwave Spectroscopy // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73. — P. 1027–1034. ($^+$)

Karplus R., *Schwinger J.* A note on saturation in microwawe spectroscopy // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73, No 9. — P. 1020–1026 ($^+$).

Buggley D. M. S., *Bleaney B.*, *Griffiths J. H. S.*, *Penrose R. P.*, *Plumpton B. I.* Paramagnetic resonance in salts of the iron group. A preliminary survey. I. Theoretical discussion // Proceedings of the physical society. London. — 1948. — Vol. 61, No 6. — P. 542–550; II. Experimental results // ibidem. — P. 551–561.

Gutowsky H. S., *Pake G. E.* Nuclear Magnetism in Studies of Molecular Structure and Rotation in Solids: Ammonium Salts // J. Chem. Phys. — 1948. — Vol. 16. — P. 1164. (Line narrowing due to internal motions in solids. S.S.)

Hewitt W. H. // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73. — P. 1118–1119. (См. *Хьюитт В.* Резонансное поглощение при сантиметровых волнах в ферромагнитных полупроводниках // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 137–138.)

Jacobsohn B. A., *Wangsness R. K.* Shapes of nuclear induction signals // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 73, No 9. — P. 942–946.

Kittel Ch. On the theory of ferromagnetic absorption // Phys. Rev. — 1948. — Vol.73, No 2. — P. 155–161.

Pake G. E. Nuclear resonance absorption in hydrogenated crystals. Fine structure of the proton line // J. Chem. Phys. — 1948. — Vol. 16. — P. 327–336. (First applications in chemical physics. Introduction of the famous Pake doublet. S.S.) Открытие «Пейковского дублета», возникающего в системе двух дипольно взаимодействующих протонов со спином $^1/_2$, принадлежащих гидратационной молекуле воды H_2O в жесткой решетке кристалла.

Pake G. E., *Gutowsky H. S.* Nuclear Relaxation in Ice at –180 °C // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74. — P. 979–980.

Pake G. E., *Purcell E. M.* Line shape in nuclear paramagnetism // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 9. — P. 1184–1188. (Функция Лоренца — функция Гаусса в зависимости от подвижности молекул в решетке.)

Packard M. A Proton-Controlled Magnetic Field Regulator // Rev. Sci.Instrum. — 1948. — Vol. 19. — P. 435–439. (First NMR lock. S.S.). Стабилизатор отношения поле/частота с помощью ЯМР предложен впервые.

Rollin B. V., *Hatton J.* Nuclear paramagnetism at low temperatures // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 3. — P. 346. (^{19}F in CaF_2.)

Van Vleck J. H. Dipolar broadening of magnetic resonance lines in crystals // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 9. — P. 1168–1183. См. перев. *Ван-Флек Дж.* Дипольное расширение линий магнитного резонанса в кристаллах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 71–87.

Whitmer C. A., *Weidner R. T.*, *Hsiang J. S.*, *Weiss P. R.* Magnetic resonance absorption in the chrome alums // Phys. Rev. — 1948. — Vol. 74, No 10. — P. 1478–1484.

1949

Anderson H. L. Precise Measurement of the Gyromagnetic Ratio of ^{3}He // Phys. Rev. — 1949. — 76. — P. 1460–1470.

Bloembergen N. On the interaction of nuclear spins in a crystalline lattice // Physica. — 1949. — Vol. 15. — P. 386–426. Вводится в частности понятие о спиновой диффузии, обусловленной дипольными взаимодействиями ядерных спинов. (The concept of spin diffusion due to the dipole interactions of nuclear spins is introduced in particular.)

Broersma S. The Magnetic Susceptibility of Organic Compounds // J. Chem. Phys. — 1949. — Vol. 17. — P. 873. ($^{+}$) (This is not NMR but the pertinence was evident S.S. — С. Сикора считает результаты этой работы важными для ЯМР. Это перекликается с заключением Я. Г. Дорфмана о важности совместного изучения ЯМР и диамагнитной восприимчивости соединений.)

Brown W. F., Jr. Crystal Interactions in Ferromagnetic Resonance // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 12. — P. 1959–1960. См. *Браун В.* Магнитное взаимодействие в поликристаллах при ферромагнитном резонансе // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 113–115.

Dehmelt H. G. Kernquadrupolfrequenzen in festen Dichloräthylen // Z. f. Physik. — 1949. — Bd. 126. — S. 728. Открытие ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР).

Dickinson W. C. Magnetic Moment of ^{139}La // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76. — P. 1414.

Dickinson W. C., *Wimett T. F.* The Magnetic Moment of ^{9}Be // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75. — P. 1769.

Drain L. E. A Direct Method of Measuring Nuclear Spin-Lattice Relaxation Times // Proc. Roy. Soc. (London). — 1949. — Vol. A62. — P. 301. (Proposal for measurements of relaxation in complex systems. S.S.)

Hatton J., *Rollin B. V.* NMR at Low Temperatures // Proc. Roy. Soc. (London). — 1949. — Vol. A199. — P. 222. (Ionic crystals, metals, solid H_2 (1–14 °K) S.S.)

Gutowsky H. S., *Kistiakowsky G. B.*, *Pake G. E.*, *Purcell E. M.* Structural Investigations by Means of Nuclear Magnetism. I. Rigid Crystal Lattices // J. Chem. Phys. — 1949. — Vol. 17. — P. 972. Анализ формы линий ЯМР в кристалле методом спектральных моментов. (Introduction of spectral moments S.S.)

Holden A. N., *Kittel C.*, *Merrit F. R.*, *Yager W. A.* Microwave resonance absorption in a paramagnetic organic compounds // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 10. — P. 1614.

Hopkins N. J. Magnetic Field Strength Meter Using the Proton Magnetic Moment // Rev. Sci. Instrum. — 1949. — Vol. 20. — P. 401–402. Применение ЯМР для измерения индукции магнитного поля получило большое значение, в том числе для наладки циклотронов и других устройств. (NMR magnetic-field meters are still of great importance. S.S.)

Hutchison Clyde A. Paramagnetic resonance absorption in crystals colored by irradiation // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 5. — P. 1769–1770.

Kip A. F., *Arnold R. D.* Ferromagnetic resonance at microwave frequencies in an Iron single crystal // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 10. — P. 1556–1560.

Kittel Ch. On the gyromagnetic ratio and spectroscopic splitting factor of ferromagnetic substances // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76. — P. 743–748. См. *Киттель Ч.* О магнетомеханическом факторе и факторе спектроскопического расщепления ферромагнитных веществ // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 101–111.

Kittel C., *Yager W. A.*, *Merrit F. R.* On the Gorter normal field ferromagnetic resonance experiments // Physica. — 1949. — Vol. 15, No 1–2. — P. 256–257. См. перев. *Киттель Ч.*, *Ягер В.*, *Меррит Ф.* Опыты по ферромагнитному резонансу при гортеровском нормальном поле // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 139–140.

Knight W. D. Nuclear magnetic resonance shift in metals // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76, No 8. — P. 1259–1260. Открытие сдвига Найта — сдвига частоты ЯМР в металлах, обусловленного взаимодействием ядерных спинов с электронами проводимости (Discovery of Knight shifts in metal S.S.).

Penrose R. P., *Gorter C. J.*, *Abragam A.* Hyperfine structure in the solid state // Nature. — 1949. — Vol. 163. — P. 992–993.

Polder D. // Phil. Mag. — 1949. — Vol. 40. — P. 99. См. *Полдер Д.* К теории ферромагнитного резонанса // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 87–101.

Proctor W. G. The Magnetic Moment of ^{203}Tl // Phys. Rev. — 1949. — 75. — P. 522.

Proctor W. G., Yu F. C. On the Magnetic Moments of ^{115}Sn, ^{111}Cd, ^{113}Cd, ^{195}Pt, and ^{199}Hg // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76. — P. 1728.

Proctor W.G. The Magnetic Moments of ^{117}Sn, ^{119}Sn, and ^{207}Pb // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76. — P. 684.

Spooner R.B., *Selwood P.W.* Nuclear Induction and the Structure of Catalytically Active Solids // J. Am. Chem. Soc. — 1949. — Vol. 71. — P. 2184–2187.

Thomas H.A., *Huntoon R.D.* Amplitude Bridge for Detection of Nuclear Resonance // Rev. Sci. Instrum. — 1949. — Vol. 20. — P. 516–517.

Torrey H.C. Transient Nutations in Nuclear Magnetic Resonance // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76. — P. 1059. (Aims at measurements of relaxation in complex systems. S.S.) Задача измерения релаксации в сложных системах.

Wheatley J., *Halliday D.* Paramagnetic absorption in single crystals of copper sulfate pentahydrate // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 75, No 9. — P. 1412–1415.

Wright A. Some aspects of paramagnetic relaxation // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76, No 12. — P. 1826–1838.

Zimmerman J.R., *Williams D.* Determination Nuclear gyromagnetic ratios I // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76, No 3. — P. 350–357 (определены ЯМР γ для 12 нуклидов с точностью 10^{-4}).

Zimmerman J.R., Williams D. Determination Nuclear gyromagnetic ratios II // Phys. Rev. — 1949. — Vol. 76, No 5. — P. 638–640 (определены ЯМР γ для 6 нуклидов с точностью 10^{-4}).

1950

Abragam A., *Pryce M.H.L.* Theoretical interpretation of copper fluorosilicate spectrum // Proc. Phys. Soc. — 1950. — Vol. 63, No 4. — P. 409–410.

Andrew E.R. Molecular Motion in Certain Solid Hydrocarbons // J. Chem. Phys. — 1950. — 18. — P. 607.

Andrew E.R., *Bersohn R.* Nuclear Magnetic Resonance Line Shape for a Triangular Configuration of Nuclei // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 159. Erratum in 20, 924 (1952).

Benzie P.J., *Cooke A.H.* Spin lattice relaxation in some paramagnetic salts // Proc. Phys. Soc. — 1950. — Vol. 63, No 3. — P. 201–212.

Birks J.B. The properties of ferromagnetic compounds materials at centimeter wavelength // Proc. Phys. Soc. — 1950. — Vol. 63, No 1. — P. 65–74. См. перев. *Биркс Дж.Б.* Свойства ферромагнитных соединений при сантиметровых волнах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С.В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 241–250. (*)

Bloembergen N., *Dickinson W.C.* On the Shift of the Nuclear Magnetic Resonance in Paramagnetic Solutions // Phys. Rev. — 1950. — 79. — P. 179–180.

Collins T.J. Nuclear magnetic resonance for K^{39} // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 80, No 1. — P. 103. (Un. of British Columbia, Vancuver.)

Brown R.M. Nuclear Magnetic Resonance in Weak Fields // Phys. Rev. — 1950. — 78. — P. 530–532. (Description of a low-frequency probehead. S.S.)

Dehmelt H. G., *Kruger H.* Kernquadrupolfrequenzen in festen Dichloräthylen // Naturwissensch. — 1950. — Bd. 37, H 5. — S. P. 111–112. Сообщение о ЯКР изотопов Cl.

Dehmelt H. G. Kernquadrupolfrequenzen in kristallinen Jodverbindungen // Naturwissensch. — 1950. — Bd. 37, H 17. — S. P. 398. Сообщение о ЯКР ^{127}I.

Dickinson W. G. Dependence of the ^{19}F Nuclear Resonance Position on Chemical Compound // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77. — P. 736–737. (Parallel discovery of chemical shifts. ^{19}F.S.S.)

Dickinson W. C. Hartree Computation of the Internal Diamagnetic Field for Atoms // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 80. — P. 563. (First explanations of chemical shifts. S.S.)

Guilland Ch., *Yager W. A.*, *Merrit F. R.*, *Kittel C.* Ferromagnetic resonance in manganese ferrite and the theory of the ferrites // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 79, No 1. — P. 181.

Griswold T. W.,. Kip A. F., *Kittel C.* Microwave Spin Resonance Absorption by Conduction Electrons in Metallic Sodium // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 88, Iss. 4. — P. 951–952.

Gutowsky H. S., *Hoffman C. J.* Chemical Shifts in the Magnetic Resonance of ^{19}F // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 80. — P. 110–111.

Gutowsky H. S., *Pake G. E.* Structural Investigations by Means of Nuclear Magnetism. II. Hindered Rotation in Solids // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 162.

Hahn E. L. Nuclear Induction Due to Free Larmor Precession // Phys. Rev. — 1950. — 77. — P. 297–298. (Hahn echo, stimulated echo, 2- and 3-pulse sequences. S.S.)

Hahn E. L. Spin echoes // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 80, No 4. — P. 580–594.

Holden A. N., *Kittel C.*, *Merrit F. R.*, *Yager W. A.* Determination of g-values in paramagnetic organic compounds by microwave resonance // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77, No 1. — P. 147–148.

Kastler A. Quelques suggestion concernant la production optique d'une inegalité population des niveaux de quantification spatiale des atomes. Application à l'experience de Stern et Gerlach à la résonance magnétique // J. Phys. Rad. — 1950. — T. 11, No 6. — P. 255–265. (Открытие двойного оптического — парамагнитного резонанса, отмеченное Нобелевской премией.)

Kittel Ch., *Herring C.* Effect of exchange interaction on ferromagnetic microwave resonance absorption // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77. — P. 725–726. См. *Киттель Ч.*, *Херринг К.* Влияние обменного взаимодействия на ферромагнитное высокочастотное резонансное поглощение // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 111–113.

Kittel C., *Galt J. K. and Campbell W. E.* Crucial Experiment Demonstrating Single Domain Property of Fine Ferromagnetic Powders // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77, No 5. — P. 725.

Korringa J. Nuclear magnetic resonance line shift in metals // Physica. — 1950. — Vol. 16. — P. 601.

Lindström G. An Experimental Investigation of the Nuclear Magnetic Moments of ^{2}D and ^{1}H // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 78. — P. 817. (First report of ^{1}H chemical shifts S.S.)

Newman R. Proton Nuclear Magnetic Resonance Studies in KH_2PO_4, KH_2AsO_4, $NH_4H_2PO_4$, and $NH_4H_2AsO_4$ // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 669.

Pound R. V. Nuclear electric quadrupole interactions in crystals // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 79, No 4. — P. 685–705.

Pound R. V., Knight N. D. A radiofrequency spectrograf and simple magnetic field meter // Rev. Sci. Instr. — 1950. — Vol. 21. — P. 219–224. Автодин «коробка Паунда» был одним из популярных приборов для наблюдения ЯМР. (Technical description of the "Pound" NMR instrument. S.S.)

Proctor W. G., Yu F. C. On the Magnetic Moments of ^{55}Mn, ^{59}Co, ^{37}Cl, ^{15}N, and ^{14}N // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77. — P. 716.

Proctor W. G., Yu F. C. (Фан Цин Юй). The Dependence of a Nuclear Magnetic Resonance Frequency upon Chemical Compound // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77. — P. 717. Открытие химического свига в ЯМР основного изотопа азота. (Discovery of chemical shifts ^{14}N. S.S.)

Proctor W. G., Yu F. C. On the Magnetic Moments of ^{129}Xe, ^{209}Bi, ^{45}Sc, ^{121}Sb, and ^{123}Sb // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 78. — P. 471.

Proctor W. G. On the Magnetic Moments of ^{203}Tl, ^{205}Tl, ^{115}Sn, ^{117}Sn, ^{119}Sn, ^{111}Cd, ^{113}Cd, and ^{207}Pb // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 79. — P. 35–44. Всего Уоррен Проктор с сотрудниками измерили впервые гиромагнитные отношения γ примерно для 20 нуклидов. (Technical description of the "Proctor" NMR instrument. S.S.)

Ramsay N. F. The internal diamagnetic field correction in measurements of the proton magnetic resonance // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77, No 4. — P. 567.

Ramsey N. F. Magnetic Shielding of Nuclei in Molecules // Phys. Rev. — 1950. — Vol.78. — P. 699–703. (Экранирование ядерных магнитных моментов электронными оболочками приводит к «химическому сдвигу» частоты ЯМР. (Theory of chemical shifts S.S.))

Shaw T. M., Elsken R. H. NMR Absorption in Hygroscopic Materials // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 1113. (Water absorption and moisture studies will be an NMR evergreen. S.S. — Измерение влажности остается вечно актуальной проблемой для ЯМР (С. Сикора).)

Sternheimer R. On nuclear quadrupole moments // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 80, No 1. — P. 102. (Фактор Штернхаймера характеризует поправочный множитель в частотах квадрупольных ядерных взаимодействий, обусловленный атомными электронными оболочками. (The Sternheimer factor characterizes the correction factor in the frequencies of quadrupole nuclear interactions caused by atomic electron shells.))

Thomas J. T., Alpert N. L., Torrey H. C. Nuclear Magnetic Resonance in Methane // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18. — P. 1511.

Townes C. H., Turkevich J. Hyperfine structure and exchange narrowing of paramagnetic resonance // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77, No 1. — P. 148.

Townes C. H., Harring C., Knight W. D. The effect of electron paramagnetism on nuclear magnetic resonance frequencies in metals // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 77. — P. 852–853.

Trounson E. P., Bleil D. F., Wangsness R. K., Maxwell L. R. Magnetic resonance in anti-ferromagnetic materials near the Curie temperature // Phys. Rev. — 1950. — Vol. 79, No 3. — P. 542–543. См. *Траунсон Е., Блейль Д., Вангснесс Р., Максвелл Л.* Магнитный резонанс в антиферромагнитных материалах около температуры Кюри // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 203–205.

Гвоздовер С. Д., Магазаник А. А. Изучение парамагнетизма атомных ядер методом магнито-спинового резонанса // ЖЭТФ. — 1950. — Т. 20. — С. 705–721. (Работа открывает серию исследований ЯМР на физфаке МГУ им. М. В. Ломоносова с помощью метода генератора слабых колебаний. Обеспечила начало подготовки одной из первых в СССР группы специалистов по применениям ЯМР в химии[histR].)

1951

Abragam A., Pryce M. H. L. The theory of nuclear hyperfine structure of paramagnetic resonance spectra in crystals // Proceed. Roy. Soc. London. — 1951. — Vol. 206 A, No 1085. — P. 135–153.

Abragam A., Pryce M. H. L. The theory of nuclear hyperfine structure of paramagnetic resonance spectra in the copper Tutton salts // Proceed. Roy. Soc. London. — 1951. — Vol. 206 A, No 1085. — P. 164–172. Работы Прайса и Абрагама объяснили контактное взаимодействие электронных спинов с ядерными примесью *s*-состояний к *d*-состояниям электронов в ионах переходных металлов. The work of Pryice and Abragam explained the contact interaction of electron spins with nuclear spins admixing of s-states to d-states of electrons in transition metal ions.

Abragam A., Pryce M. H. L. The theory of paramagnetic resonance in hydrated cobalt salts // Proceed. Roy. Soc. London. — 1951. — Vol. 206A, No 1085. — P. 173–191.

Andrew E. R. Nuclear Magnetic Resonance Absorption in $NaSbF_6$ // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 82, No 3. — P. 443–444.

Arnold J. T., Dharmatti S. S., Packard M. E. Chemical effects on nuclear induction signals from organic compounds // Journ. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 507. Впервые получен разрешенный спектр ПМР этанола из трех линий, принадлежащих протонам с разными химическими сдвигами — CH_3CH_2OH. (First chemically resolved NMR spectrum (ethanol). S.S.)

Arnold J. T., Packard M. E. Variations in Absolute Chemical Shift of Nuclear Induction Signals of Hydroxyl Groups of Methyl and Ethyl Alcohol // J. Chem.

Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 1608. (First report on variability in chemical shift of mobile hydrogens. S.S.) Первое сообщение об изменчивости химических сдвигов мобильного водорода гидроксильных групп.

Bloch F. Nuclear Relaxation in Gases by Surface Catalysis // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 1062–1063.

Bradford R., *Clay C.*, *Strick E.* A Steady-State Transient Technique in Nuclear Induction // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 157–158. (Introduction of SSFP (Steady-State Free Precession S.S.))

Clay C. S., *Bradford R. S.*, *Strick E.* A Possible Relation between the Nuclear Relaxation Time, T_2, and Molecular Structure // J. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 1429.

Dehmelt H. G. Quadrupol-Resonanzfrequenzen von ^{127}J-Kernen in kristallinen kovalenten Jodverbindungen // Zschr.f. Phys. — 1951. — Bd. 130, H. 3. — S. 356–370.

Dehmelt H. G. Quadrupolresonanzfrequenzen des kristallinen Broms // Zschr. f. Phys. — 1951. — Bd. 130, H. 4. — S. 480–482.

Dehmelt H. G., *Krüger H.* Quadrupol-Resonanzfrequenzen von Cl- und Br-Kernen in kristallinen Dichloräthylen in Methylbromid // Zschr. f. Phys. — 1951. — Bd. 129. — S. 401–415.

Dehmelt H. G., *Krüger H.* Quadrupolresonanzspectrum in kristallinem Antimontrichlorid und das Verhältnis der Antimonkernquadrupolmomente // Zschr. f. Phys. — 1951. — Bd. 130, H. 3. — S. 385–391. ЯКР изотопа сурьмы.

Deutsch M., *Dulitt E.* Short range interaction of electron and fine structure of positronium // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 601–602 (*).

Dickinson W. C. The Time Average Magnetic Field at the Nucleus in Nuclear Magnetic Resonance Experiments // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 717–731. (Первая попытка рассчитать химические сдвиги ЯМР. (First calculations of chemical shifts. S.S.))

Gabillard R. Résonance nucléaire mesuré du temps de relaxation T_2 en présence d'une inhomogenéité de champ magnétique supérieur à la largeur de raie // C.R. Acad. Sci. Paris. — 1951. — T. 232. P. 1551–1553.

Gordy W. Interpretation of Nuclear Quadrupole Couplings in Molecules // J. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 792.

Gutowsky H. S. Nuclear Magnetic Resonance in Metals: Temperature Effects for ^{23}Na // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 1073–1074.

Gutowsky H. S., *Hoffman C. J.*, *McClure R. E.* Magnetic Shielding of ^{1}H and ^{19}F Nuclei in Molecules // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 305. Comm. to the Am. Phys. Soc. (Introducing NMR into Chemistry. S.S.)

Gutowsky H. S., *Mc Clure R. E.* Magnetic Shielding of the Proton Resonance in H_2, H_2O and Mineral Oil // Phys Rev. — 1951. — Vol. 81, No 2. — P. 276–277. (Впервые демонстрируется возможность применения протонного магнитного резонанса в химии. (Introducing NMR into Chemistry.))

Gutowsky H. S., *McCall D. W.* Nuclear Magnetic Resonance Fine Structure in Liquids // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 82, No 5. — P. 748–749.

Gutowsky H. S., *McCall D. W.*, *Slichter C. P.* Coupling among nuclear magnetic dipoles in molecules // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 589. (Наблюдение и достоверное объяснение косвенного спин-спинового взаимодействия ядер в молекуле. (Observation and correct explanation of J-couplings.))

Gutowsky H. S., *Hoffman C. J.* Nuclear Magnetic Shielding in Fluorine and Hydrogen Compounds // J. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 1259. Erratum in J. Chem. Phys. — 1952. — 20. — P. 200.

Gutowsky H. S., *McCall D. W.*, *McGarvey B. R.*, *Meyer L. H.* A Nuclear Magnetic Parameter Related to Electron Distribution in Molecules // J. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 1328.

Gutowsky H. S., *McClure R. E.*, *Hoffman C. J.* The Nuclear Spin of ^{9}Be // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 635–636.

Hahn E.L., *Maxwell D.E.* Chemical shift and field independent frequency modulation of spin echo envelope // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 1246. (Объяснение модуляции спин-эхо сигнала косвенным спин-спиновым взаимодействием. (Explanation of J-coupling effects on Hahn echo. S.S.))

Hatton J., *Rollin B. V.*, *Seymour E. F. W.* Nuclear Magnetic Resonance Measurements on ^{9}Be, ^{27}Al, and ^{29}Si in Beryl // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 672–673.

Holroyd L. V., *Codrington R. S.*, *Mrowca B. A.*, *Guth E.* Nuclear Magnetic Resonance Study of Transitions in Polymers // J. Appl. Phys. — 1951. — Vol. 22. — P. 696. (This looks like the first NMR application to polymers. S.S.)

Hutchison C. A., *Pastor R. C.* Paramagnetic resonance absorption in potassium dissolved in liquid ammonia // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81, № 1. — P. 282.

Kittel Ch. Theory of antiferromagnetic resonance // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 82, No 4. — P. 565. См. *Киттель Ч.* Теория антиферромагнитного резонанса // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С.130–132.

Kittel Ch. Ferromagnetic resonance // Journ. phys. et rad. — 1951. — Vol. 12. — P. 291. См. *Киттель Ч.* Ферромагнитный резонанс // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 17–32.

Knoebel H. W., *Hahn E. L.* A Transition Nuclear Magnetic Resonance Detector // Rev. Sci. Instrum. — 1951. — Vol. 22. — P. 904.

Kopferman H. Quadrupole frequencies in crystals // Physica. — 1951. — Vol. 17, No 3–4. — P. 386–387. (Краткий обзор первых работ Демельта и Крюгера. Также в разделе «Обзоры».)

Macdonald J. R. Ferromagnetic resonance and internal field un ferromagnetic materials // Proc. Phys. Soc. A. — 1951. — Vol. 64, No 11. — P. 968–983. См. *Макдональд Д.* Ферромагнитный резонанс и внутреннее поле в ферромагнитных матералах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 115–130.

McNeil E. B., *Slichter C. P.*, and *Gutowsky H. S.* «Slow beats» in 19F nuclear spin echoes // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 1245–1246. (Observation of J-coupling effects on Hahn echo. S.S.)

Newman R., *Ogg R. A. Jr.* Nuclear Spin Relaxation Studies in Dilute Sodium-Liquid Ammonia Solutions // J. Chem. Phys. — 1951. — Vol. 19. — P. 214.

Norberg R. E., *Slichter C. P.* Nuclear Relaxation Times in Metallic ^{23}Na // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 1074–1075.

Norberg R. E. Nuclear Magnetic Resonance of Protons Adsorbed Into Metallic Palladium // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 305; Comm. to the Am. Phys. Soc.

Okamura T., *Torizuka Y.*, *Kojima Y.* Magnetic resonance absorption in antiferromagnetic materials // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 82, No 2. — P. 285–286. См. *Окамура Т.*, *Торизука И.*, *Койима И.* Магнитное резонансное поглощение в антиферромагнитных материалах // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 205–207.

Petch H. E., *Smellie D. W.*, *Volkoff G. M.* Nuclear Electric Quadrupole Interaction in Crystals with Nonaxially Symmetric Fields // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 602–604.

Pound R. V. Nuclear Spin Relaxation Times in Single Crystals of LiF // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 156–157.

Proctor W. G., *Yu F. C.* On the Nuclear Magnetic Moments of Several Stable Isotopes // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 20–30. (Открытие и неудачная интерпретация косвенного спин-спинового взаимодействия ядер в молекуле. (First observation of scalar coupling (J) (wrong explanation). S.S.))

Purcell E. M., *Pound R. V.* A Nuclear Spin System at Negative Temperature // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 279–280. (Демонстрируется инверсия сигнала ЯМР в результате импульсного воздействия резонансного поля. (First inversion recovery curves. S.S.))

Ramsey N. F., *Pound R. V.* Nuclear Audiofrequency Spectroscopy by Resonant Heating of the Nuclear Spin System // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 278–279. (First T_1 dispersion curve and first field-cycling experiment. S.S.)

Schuster N. A., *Pake G. E.* The Electric Quadrupole Moment of ^{6}Li // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 81. — P. 157.

Smaller B. Precise Determination of the Magnetic Moment of the Deuteron // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 83. — P. 813. (Discusses modulation effects on lineshapes.S.S.)

Sommers H. S. Jr., *Weiss P. R.*, *Halpern W.* Magnet Current Stabilizer // Rev. Sci. Instrum. — 1951. — Vol. 22. — P. 612.

Sternheimer R. On nuclear quadrupole moments // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84, No 2. — P. 244–253.

Strick E., *Bradford R.*, *Clay C.*, *Craft A.* A Comment on the Validity of the Bloch Formulation for the Interpretation of Nuclear Magnetic Resonance Phenomena // Phys. Rev. — 1951. — Vol. 84. — P. 363–364.

Козырев Б. М. Метод резонансного парамагнитного поглощения в магнетохимии органических соединений // ДАН СССР. — 1951. — Т. 81, №3. — С. 1122–1123.

Фоменко Л. А. Магнитные спектры NiZn ферритов в радиочастотах // ЖЭТФ. — 1951. — Т. 21, вып. 12. — С. 1201–1208. (Это напоминает работу Аркадьева [1913], но с изменением частоты, а не размеров образца, и в области более низких частот.)

1952

Bleaney B., *Bowers K. D.* Anomalous paramagnetism of copper acetate // Proc. R. Soc. Lond. A. — 1952. — Vol. 214, No 1119. — P. 451–465. (Б. Блини отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в теорию и практику электронного парамагнитного резонанса переходных ионов в кристаллах.)

Burgess J. H., *Brown R. M.* Modulation Effects in Nuclear Magnetic Resonance // Rev. Sci. Instrum. — 1952. — Vol.23. — P. 334. (Много лет модуляция использовалась для калибровки спектров, снятых при развертке поля С. Сикора. (For several years, modulation was used to calibrate field-swept CW spectra. S.S.))

Carr H. Y. Free Precession Techniques in Nuclear Magnetic Resonance, PhD Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, (1952). Reprinted in *Encyclopedia of Nuclear Magnetic Resonance*, Vol. I. — John Wiley & Sons, 1996.

Gabillard R. A Steady State Transient Technique in Nuclear Resonance // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85. — P. 694–695.

Griswold T. W., *Kip A. F.*, *Kittel C.* Microwave Spin Resonance Absorption by Conduction Electrons in Metallic Sodium // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 88, Iss. 4. — P. 951–952.

Jeffries C. D., *Loeliger H.*, *Staub H. H.* The Nuclear Magnetic Resonance of Titanium and Arsenic // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85. — P. 478–479.

Kakiuchi Y., *Shono H.*, *Komatsu H.*, *Kigoshi K.* Proton Magnetic Resonance Absorption in Hydrogen Perchlorate Monohydrate and the Structure of the Oxonium Ion I // J. Phys. Soc. Japan. — 1952. — Vol. 7. — P. 102–106. See Erratum at p. 438.

Kakiuchi Y., *Komatsu H.* Proton Magnetic Resonance Absorption in Hydrogen Perchlorate Monohydrate and the Structure of the Oxonium Ion II // J. Phys. Soc. Japan. — 1952. — Vol. 7. — P. 380–382.

Stevens K. W. H. Matrix elements and operator equivalents connected with the magnetic properties of rare earths ions // Proc. Phys. Soc. — 1952. — Vol. 65A, Part 3. (387A). — P. 209–214.

Waring C. E., *Spencer R. H.*, *Custer R. L.* A Bridged Tee Detector for Nuclear Magnetic Resonance // Rev. Sci. Instrum. — 1952. — Vol. 23. — P. 497.

Watkins G. D., *Pound R. V.* The Pure Nuclear Electric Quadrupole Resonance of N14 in Three Molecular Solids // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85. — P. 1062.

Norberg R. E. NMR of Hydrogen Absorbed into Palladium Wires // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 86. — P. 745.

Ramsey N. F., Purcell E. M. Interactions between Nuclear Spins in Molecules // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85. — P. 143–144.

Rushworth F. A. Nuclear Magnetic Resonance Absorption in Anthracene // J. Chem. Phys. — 1952. — Vol. 20. — P. 920.

Hahn E. L., Maxwell D. E. Spin Echo Measurements of Nuclear Spin Coupling in Molecules // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 88. — P. 1070–1084.

Hickmott T. W., Selwood P. W. The Use of Nuclear Induction in the Kinetic Study of the Reaction $Eu^{+3} + e = Eu^{+2}$ // J. Chem. Phys. — 1952. — Vol. 20. — P. 1339. (Possibly first study of chemical kinetics by NMR. S.S.)

Itoh J., Kusaka R., Yamagata Y., Kiriyama R., Ibamoto H. Nuclear Magnetic Resonance Experiment on a Four-Proton System in a Single Crystal of K_2HgC_{l4}. H_2O // J. Chem. Phys. — 1952. — Vol. 20. — P. 1503. Erratum in 1953. — Vol. 21. — P. 190.

Gutowsky H. S., McGarvey B. R. Nuclear Magnetic Resonance in Metals. I. Broadening of Absorption Lines by Spin-Lattice Interactions // J. Chem. Phys. — 1952. — Vol. 20. — P. 1472.

Bersohn R. // J. Chem. Phys. — 1952. — Vol. 20. — P. 1505. NQR will always oscillate between a tiny nichè of NMR and a self-standing discipline.

Deutsch M., Brown S. C. Zeeman effect and hyperfine splitting of positronium // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85, No 6. — P. 1047–1048.

Jeffries C. D., Loelier H., Staub H. H. // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85, No 3. — P. 478–479.

Poulis N. J., Hardeman G. E. G. Nuclear magnetic resonance in an anti-ferromagnetic single crystal. Part I // Physica. — 1952. — No 4. — P. 201–210.

Poulis N. J., Hardeman G. E. G. Nuclear magnetic resonance in an anti-ferromagnetic single crystal. Part II // Physica. — 1952. — No 5. — P. 315–328.

Ramsay N. F. Chemical effects in nuclear magnetic resonance and in diamagnetic susceptibility // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 86, No 2. — P. 243–246.

Ubbink J., Poulis J. A., Gerritsen H. J., Gorter C. J. Antiferromagnetic resonance in copper chloride // Physica. — 1952. — Vol. 18. — P. 361–368.

Walachli H., Livingston R., Martin W. J. Nuclear magnetic moment of $^{99*}Tc$ // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85, No 3. — P. 479.

Yafet Y. Calculation of the g-factor of metallic sodium // Phys. Rev. — 1952. — Vol. 85, No 3. — P. 478.

Альтшулер С. А. Резонансное поглощение звука в парамагнетиках // ДАН СССР. — 1952. — Т. 85. — С. 1253–1238. (С. А. Альтшулер теоретически предсказал явление акустического парамагнитного резонанса. (S.A. Altshuler theoretically predicted the phenomenon of acoustic paramagnetic resonance.))

Гриффитс Д. Аномальное высокочастотное сопротивление ферромагнитных материалов // Ферромагнитный резонанс и поведение ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Под ред. С. В. Вонсовского. — М.: ИИЛ, 1952. — С. 133–135. См. *Griffiths J. H. E.* Anomalous high frequency resistance of ferromagnetic metals // Nature. — 1946. — Vol. 158, No 4019. — P. 670.

Ривкинд А. И. Абсолютные измерения парамагнитного поглощения в некоторых порошках при частоте осциллирующего поля 10^7 Hz // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1952. — Т. 16, №5. — С. 541–547 (II Всесоюзное совещание по магнетизму, Свердловск).

Шехтман И. А. Гиромагнитный резонанс в никеле на волне 10 см вблизи точки Кюри // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1952. — Т. 16, №4. — С. 498–509 (II Всесоюзное совещание по магнетизму, Свердловск).

1953

Andrew E. R., Eades R. G. A nuclear magnetic resonance investigation of solid cyclohexane // Proc. Roy. Soc. (London). — 1953. — Vol. 216A, No 1126–1127. — P. 398–412.

Carver T. R., Slichter C. P. Polarization of nuclear spins in metals // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 92, No 1. — P. 212–213. (Статья вышла до публикации Оверхаузера и основывалась на данных его расчета из более ранней обширной работы о релаксации электронных спинов в металлах. (Experimental confirmation of Overhauser effect Electron-nuclear double resonance. S.S.))

Conger R. L. Nuclear Magnetic Relaxation in Viscous Liquids // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 937.

Dehmelt H. G. Nuclear Quadrupole Resonance in Some Metal Chlorides and Oxychlorides // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 380.

Gutowsky H. S., McCall D. W., Slichter C. P. Nuclear Magnetic Resonance Multiplets in Liquids // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 279.

Gutowsky H. S., McGarvey B. R. Nuclear Magnetic Resonance in Thallium Compounds // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 91. — P. 81–86.

Gutowsky H. S., McGarvey B. R. ^{87}Rb and ^{133}Cs Magnetic Resonance Shifts in the Solid Halides // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1423.

Gutowsky H. S., Meyer L. H. The Proton Magnetic Resonance in Natural Rubber // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 2122–2126.

Gutowsky H. S., Meyer L. H., McClure R. E. Apparatus for Nuclear Magnetic Resonance // Rev. Sci. Instrum. — 1953. — Vol. 24. — P. 644.

Gutowsky H. S., Saika A. Dissociation, Chemical Exchange, and the Proton Magnetic Resonance in Some Aqueous Electrolytes // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1688–1694.

Itoh J., Kusaka R., Kiriyama R., Yabumoto S. Proton Magnetic Resonance Experiment on a Single Crystal of Oxalic Acid Dihydrate, $(COOH)_2.2H_2O$ // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1895–1896.

Itoh J., Kusaka R., Yamagata Y., Kiriyama R., Ibamoto H., Kanda T., Masuda Y. Nuclear Magnetic Resonance Experiment on the Single Crystals of $K_2HgCl_4.H_2O$ and $K_2SnCl_4.H_2O$. Part I // J. Phys. Soc. Japan. — 1953. — Vol. 8. — P. 287–289.

Itoh J., Kusaka R., Yamagata Y., Kiriyama R., Ibamoto H. Nuclear Magnetic Resonance Experiment on the Single Crystals of $2HgCl_4.H_2O$ and $K_2SnCl_4.H_2O$. II. The resonance absorption due to four proton system and the revised

determination of their crystal structures // J. Phys. Soc. Japan. — 1953. — Vol. 8. — P. 293–301.

Jain P.L., *Moses H.A.*, *Lee J.C.*, *Spence R.D.* Proton magnetic resonance in liquid crystals // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 92. — P. 844.

Jarrett H.S., *Sadler M.S.*, *Shoolery J.N.* Nuclear Magnetic Resonance Signals from a Tautomeric Mixture // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 2092–2093.

Kojima S., *Ogawa S.* Proton Magnetic Resonance Absorption in Cetyl Alcohol // J. Phys. Soc. Japan. — 1953. — Vol. 8. — P. 283–287.

Kojima S., *Tsukada K.*, *Ogawa S.*, *Shimauchi A.* Nuclear Quadrupole Resonance of Iodine in Molecular Solids // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 2237–2238.

Masuda Y., *Kanda T.* Chemical Shift of the ^{14}N Magnetic Resonance // J. Phys. Soc. Japan. — 1953. — Vol. 8. — P. 432–434.

McCall D.W., *Gutowsky H.S.* Chlorine Pure Quadrupole Resonances // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1300.

McGarvey B.R., *Gutowsky H.S.* Nuclear Magnetic Resonance in Metals. II. Temperature Dependence of the Resonance Shifts // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 211–2119.

Overhauser A.W. Paramagnetic relaxation in metals // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 89, No 4. — P. 689–700. (Обширная статья, посвященная поискам наиболее эффективного механизма релаксации спинов электронов проводимости, мимоходом автор предсказал эффект динамической поляризации ядер при насыщении ЭПР. Этому эффекту посвящена следующая работа. (An extensive paper devoted to the search for the most effective relaxation mechanism for the spins of conduction electrons, in passing, the author predicted the effect of dynamic polarization of nuclei upon saturation of EPR. The next following work is devoted to this effect.))

Overhauser A.W. Polarization of nuclei in metals // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 92, No 2. — P. 411–415.

Packard M., *Varian R.* // Bull. Amer. Phys. Soc. — 1953. — Vol. 28, No 7. — P. 7. (Касается аппаратуры для измерения магнитного поля Земли (Applies to instruments for measuring the Earth's magnetic field).)

Pound R.V. Evidences of Crystalline Imperfections in Nuclear Magnetism // J. Phys. Chem. — 1953. — Vol. 57. — P. 743–748. (First applications in physical chemistry. S.S.)

Powles J.G., *Gutowsky H.S.* Proton Magnetic Resonance of the CH3 Group. I. Investigation of Six Tetrasubstituted Methanes // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1695–1703.

Powles J.G., *Gutowsky H.S.* Proton Magnetic Resonance of the CH3 Group. II. Solid Solutions of t-Butyl Chloride in Carbon Tetrachloride // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1704–1709.

Portis A.M. Electronic structure of F-centers: saturation of the electron spin resonance // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 91, No 5. — P. 1071–1078. (Вводится,

в частности, понятие спектральной спиновой диффузии в неоднородной линии ЭПР (рассмотрен дипольный механизм этого эффекта). In particular, the concept of spectral spin diffusion in an inhomogeneous EPR line is introduced (the dipole mechanism of this effect is considered).)

Quinn W.E., *Brown R.M.* Nuclear Magnetic Resonance Splittings in Weak Fields // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1605.

Ramsay N.F. Electron Coupled Interactions between nuclear spins in Molecules // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 91, No 2. — P. 303–307. (Первый вклад в теорию косвенного спин-спинового взаимодействия ядер в молекуле. (The first contribution to the theory of the indirect spin-spin interaction of nuclei in a molecule.))

Reif F., *Purcell E.M.* Nuclear magnetic resonance in solid hydrogen // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 91, No 3. — P. 631–641.

Shoolery J.N. Correlation of proton magnetic resonance chemical shifts with electronegativities of substituents // Journ. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1899–1900.

Spence R.D., *Gutowsky H.S.*, *Holm C.H.* Hindered Molecular Rotation in Liquid Crystals // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1891. (Природа расщепления спектров ЯМР в нематической фазе. (The nature of the splitting of NMR spectra in a liquid crystal (nematic phase).))

Torrey H.C. Nuclear Spin Relaxation by Transitional Diffusion // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 92. — P. 962–969. (Investigation of relaxation mechanisms other than rotation. S.S.)

Wangsness R.K., *Bloch F.* The dynamical theory of nuclear induction // Phys. Rev. — 1953. — Vol. 89, No 4. — P. 728–739. (Обоснование уравнений Блоха статистическими методами, первая в серии работ. (Justification of the Bloch equations by statistical methods, the first in a series of papers.))

Гвоздовер С.Д., *Иевская Н.М.* Об универсальной схеме для наблюдения магнитного резонанса атомных ядер // ЖЭТФ. — 1953. — Т. 25, вып. 4. — С. 435–440. ([histR])

1954

Anderson P.W. A Mathematical Model for the Narrowing of Spectral Lines by Exchange or Motion // J. Phys. Soc. Japan. — 1954. — Vol. 9. — P. 316–339.

Anderson W.A., *Arnold J.T.* A Line-Narrowing Experiment // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 497–498. (Experimental confirmation of sample spinning effects. S.S.)

Baker E.B. RF Phase-Sensitive Detector for Nuclear Magnetic Resonance Signals // Rev. Sci. Instrum. — 1954. — Vol. 25. — P. 390.

Beljers H.G.L., *van der Kint L.*, *van Wieringen J.S.* Overhauser effect in free radical // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 95, No 6. — P. 1683. (Наблюдался эффект динамической поляризации ядер (ДПЯ) в твердом свободном радикале 1,1-дифенил-2-пикрилгидразил. Авторы назвали этот эффект ДПЯ —

эффектом Оверхаузера. (The effect of dynamic nuclear polarization (DNP) in a solid free radical 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. The authors named this effect of the DNP — the Overhauser effect.))

Benedek G. B., *Purcell E. M.* Nuclear Magnetic Resonance in Liquids under High Pressure // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 2003.

Bersohn R. Double-Bond Character of Conjugated Carbon-Chlorine Bonds // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 2078.

Bersohn R., *Gutowsky H. S.* Proton Magnetic Resonance in an Ammonium Chloride Single Crystal // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol.22. — P. 651.

Bloch F. Line-Narrowing by Macroscopic Motion // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 496–497. (Предлагается вращать образец, в котором наблюдается ЯМР для усреднения азимутальной неоднородности магнитного поля. Этот метод долгое время играл очень важную роль в повышении разрешения спектрометров ЯМР (в пределе — на порядок величины). (This suggested sample spinning. S.S.))

Bloembergen N. V., *Pound R. V.* Radiation Damping in Magnetic Resonance Experiments // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 95. — P. 8–12. (In-dept discussion of radiation damping. S.S.)

Bloembergen N., *Wang S.* Relaxation effects in para- and ferromagnetic resonance // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 93, No 1. — P. 72–83.

Bray P. J. Nuclear Quadrupole Resonances in Solid Aryl Bromides and Iodides // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 946.

Bray P. J. Bromine Nuclear Quadrupole Resonances // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 950.

Bray P. J., *Barnes R. G.* Nuclear Quadrupole Resonances in Bromobenzene Derivatives // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol.22. — P. 2023.

Brun E., *Oeser J.*, *Staub H. H.*, *Telschow C. G.* The Nuclear Magnetic Moments of Xe129 and Xe131 // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 93. — P. 904.

Carr H. Y., *Purcell E. M.* Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 630–638. (First treatement of diffusion effects. The Carr–Purcell pulse sequence. S.S.)

Das T. P., *Saha A. K.* Mathematical Analysis of the Hahn Spin-Echo Experiment // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 93. — P. 749–756.

Dehmelt H. G. Nuclear Quadrupole Couplings in Solid Bromides and Iodides // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 511.

Elliot R. J. Theory of the effect of the spin-orbit coupling on magnetic resonance in some semiconductors // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 96, No 2. — P. 266–279. (Автор решил задачу выделения наиболее эффективного механизма спин-решеточной релаксации электронов проводимости в металлах и полупроводниках. (The author solved the problem of finding the most effective mechanism for spin-lattice relaxation of conduction electrons in metals and semiconductors.))

Giulotto L., *Chiarotti G.*, *Cristiani G.* Nuclear Relaxation and Quasi-Crystalline Structure of Liquids // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 1143.

Gutowsky H. S., *Frank P. J.* Electron Spin Resonance in Metals at Low Fields // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94. — P. 1067. (Using low-field NMR hardware for ESR. S.S.)

Gutowsky H. S., *McCall D. W.* Electron Distribution in Molecules. IV. Phosphorus Magnetic Resonance Shifts // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 162.

Gutowsky H. S., *Pake G. E.*, *Bersohn R.* Structural Investigations by Means of Nuclear Magnetism. III. Ammonium Halides // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 643.

Gutowsky H. S., *Williams G. A.*, *McCall D. W.* The Nuclear Spin of ^{29}Si // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 93. — P. 1428–1429.

Itoh J., *Kusaka R.*, *Yamagata Y.* The Electric Quadrupole Splitting of the Nuclear Magnetic Resonance Lines of Sodium in a Single Crystal of $Na_2S_2O_3.5H_2O$ // J. Phys. Soc. Japan. — 1954. — Vol. 9. — P. 209–218.

Kubo R. Note on the Stochastic Theory of Resonance Absorption // J. Phys. Soc. Japan. — 1954. — Vol. 9. — P. 935–944.

Kubo R., *Tomita*. A General Theory of Magnetic Resonance Absorption // J. Phys. Soc. Japan. — 1954. — Vol. 9. — P. 888–919.

Lloyd J. P., *Pake G. E.* Spin relaxation in free radical solutions exhibiting hyperfine structure // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 94, No 3. — P. 579–591.

Packard M., *Varian R.* Free nuclear induction in the Earth magnetic field // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 93. — P. 941. (Am. Phys. Soc. meeting 27–28 November 1953) (Phys. Rev. does not list it as an article S.S.)

Richter H. L. Jr., *Humphrey F. B.*, *Yost D. M.* Link Coupling for Nuclear Magnetic Resonance // Rev. Sci. Instrum. — 1954. — Vol. 25. — P. 190.

Royden V. Measurement of the spin and gyromagnetic ratio of ^{13}C by the collapse of spin-spin splitting // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 96. — P. 543–544. Косвенное измерение с помощью углерод-протонного двойного резонанса по «схлопыванию» сателлитов ^{13}C линии ПМР.

Saika A., *Slichter C. P.* A note on the fluorine resonance shifts // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 26–28.

Schawlow A. L. Nuclear Quadrupole Resonances in Solid Bromine in Iodine Compounds // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 1211.

Schumacher R. T., *Carver T. R.*, *Slichter C. P.* Measurement of the spin paramagnetism of conduction electrons // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 95, No 4. — P. 1089–1090.

Sugawara Tadayu, *Yoshika Masuda*, *Teiinosuke Kanda*, *Eizo Kanda.* Nuclear magnetic resonance in solid hydrogen with various ortho-concentration // Phys. Rev. — 1954. — Vol. 95, No 5. — P. 1355–1356.

Weatherly T. L. Nuclear Quadrupole Resonance in Ethyl Chloroformate and Ethyl Trichloroacetate // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 22. — P. 958.

Козырев Б. М., *Ривкинд А. И.* Об исследовании комплексообразования в растворах методом протонного резонанса // ДАН СССР. — 1954. — Т. 98, № 1. С. 97–98.

1955

Naval Research Laboratory, Department of Chemistry, University of Wisconsin, Magnetic Shielding of Nuclei in Molecules by a Variational Method // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 474–476.

Anderson A. G., *Garwin R. L.*, *Hahn E. L.*, *Horton J. W.*, *Tucker G. L.*, *Walker R. M.* Spin echo serial storage memory // J. Appl. Phys. — 1955. — Vol. 26. — P. 1324–1338. (Is this one of the roots of today's (still remote) quantum computing? S.S.)

Aston J. G. Study of Nuclear Resonance of the Supercooled Rotational Transition of 2,3-Dimethylbutane // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 528. (Hindered rotation due to intra-molecular interactions observed in liquids. S.S.)

Baker E. B. Nuclear Spin-Spin Coupling in Substituted Benzenes // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 984.

Baker E. B. Nuclear Magnetic Resonance Spectra of Methyl Pyridines // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1981.

Barnes R. G., *Bray P. J.* Nuclear Quadrupole Resonances of ^{75}As // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol.23. — P. 407. See also Erratum in JCP 1955. — Vol. 23. — P. 1178.

Barnes R. G., *Bray P. J.* Nuclear Quadrupole Resonances of ^{121}Sb and ^{123}Sb // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol.23. — P. 1177.

Bloom A. L. Nuclear induction in inhomogeneous fields // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98. — P. 1105–1111. (Line broadening and diffusion effects. S.S.)

Bloom A. L., *Shoolery J. N.* Effects of perturbing radiofrequency fields on nuclear spin coupling // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 97. — P. 1261–1265. (The notion of decoupling. S.S.)

Dailey B. P., *Shoolery J. N.* The Electron Withdrawal Power of Substituent Groups // J. Am. Chem. Soc. — 1955. — Vol. 77. — P. 3977–3981. (Substituent effects on chemical shifts. S.S.)

Dayson F. J. Electron spin resonance absorption in metals. II. Theory of electron diffusion and the skin effect // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98, No 2. — P. 337–348.

Dean C. Chlorine Nuclear Quadrupole Resonances in Solid Solutions // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1734.

Elsken R. H., *Shaw T. M.* Technique for Continuous Intensity Standardization in Quantitative Analysis by Nuclear Magnetic Absorption // Anal. Chem. — 1955. — Vol. 27. — P. 290–282. (Overcoming problems with quantitative analysis by NMR. S.S.)

Feher G., *Kip A. F.* Electron spin resonance absorption in metals. I. Experimental // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98, No 2. — P. 337–348.

Feher G., *Knight W. D.* Measurement of Electronic Susceptibilities by Means of Nuclear Resonance Absorption // Rev. Sci. Instrum. — 1955. — Vol. 26. — P. 293.

Holcomb D. F., *Norberg R. E.* Nuclear Spin Relaxation in Alkali Metals // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98. — P. 1074–1091.

Holder B. E., *Klein M. P.* Chemical Shifts of Nitrogen // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1756. (The first nitrogen (14N) spectra. S.S.)

Hood G. C., *Redlich O.*, *Reilly C. A.* Ionization of Strong Electrolytes. IV. Nuclear Magnetic Resonance and Dissociation of Trifluoroacetic Acid // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 2229.

Jaynes E. Matrix treatment of nuclear induction // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98. — P. 1099–1105. (Density matrix formalism. S.S.)

Kanda T. // J. Phys. Soc. Japan. — 1955. — Vol. 10. — P. 85–88.

Physics Department, Columbia University, Nuclear Quadrupole Interaction in HCN and DCN in the Bending Vibrational Mode // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 249–252.

Kojima S., *Tsukada K.*, *Ogawa S.*, *Shimauchi A.* Nuclear Quadrupole Resonances in Solid Iodine Compounds // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1963.

Kromhout R. A., *Moulton W. G.* Nuclear Magnetic Resonance: Structure of the Amino Group I // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1873.

McConnell H. M. Molecular Orbital Approximation to Electron-Spin Coupled Nuclear Spin-Spin Interactions in Molecules // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 760.

McConnell H. M. Dirac Vector Model for Electron Coupled Nuclear Spin Interactions // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 2454.

McConnell H. M., *McLean A. D.*, *Reilly C. A.* Analysis of Spin-Spin Multiplets in Nuclear Magnetic Resonance Spectra // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1152.

Phillips W. D. Restricted Rotation in Amides as Evidenced by Nuclear Magnetic Resonance // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1363.

Pines D., *Slichter C. P.* Relaxation times in magnetic resonance // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 100. — P. 1014–1020.

Proctor W. G., *Tanttilla W. H.* Saturation of Nuclear Quadrupole Energy Levels by Ultrasonic Exitation // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98. — P. 1854. (Первое наблюдение предсказанного Альтшулером акустического парамагнитного резонанса.)

Redfield A. G. Nuclear magnetic resonance saturation and rotary saturation in solids // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 98. — P. 1787–1809.

Shaw T. M., *Elsken R. H.* Determination of Hydrogen in Liquids and Suspensions by Nuclear Magnetic Absorption // Anal. Chem. — 1955. — Vol. 27. — P. 1983–1985.

Shaw T. M., *Elsken R. H.* Techniques for Nuclear Magnetic Resonance Measurements on Granular Hygroscopic Materials // J. Appl. Phys. — 1955. — Vol. 26. — P. 313.

Shoolery J. N., *Alder B. J.* Nuclear Magnetic Resonance in Concentrated Aqueous Electrolytes // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 805.

Shulman R. G., *Mays J. M.*, *McCall D. W.* Nuclear Magnetic Resonance in Semiconductors. I. Exchange Broadening in InSb and GaSb // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 100. — P. 692–699. (doi:10.1103/PhysRev.100.692 S.S.)

Slichter C. P. Spin resonance of impurity atoms in silicon // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 99. — P. 479–480.

Slichter C. P. Diffusion effects in magnetic resonance of the alkali metals, in Bristol Conference on Defects in Crystalline Solids // Proc. Phys. Soc. London. — 1955. — P. 52–59.

Slichter C. P. Concept of temperature and the Overhauser nuclear polarization effect // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 99. — P. 1822–1823.

Solomon I. Relaxation processes in a system of two spins // Phys. Rev. — 1955. — Vol. 99, No 2. — P. 559–565 (Обоснование применения ядерного эффекта Оверхаузера. (Master relaxation equations for two like/unlike spins. Nuclear Overhauser effect. Relaxation in paramagnetic solutions. S.S.))

Van Wazer J. R., *Callis C. F.*, *Shoolery J. N.* Nuclear Magnetic Resonance Spectra of the Condensed Phosphates // J. Am. Chem. Soc. — 1955. — Vol. 77. — P. 4945–4946.

Weaver H. E., *Tolbert B. M.*, *LaForce R. C.* Observation of Chemical Shifts of ^{17}O Nuclei in Various Chemical Environments // J. Chem. Phys. — 1955. — Vol. 23. — P. 1956. (The first oxygen (^{17}O) spectra. S.S.) (Первое наблюдение спектра ЯМР редкого изотопа кислорода ^{17}O).

Альтшулер С. А. Резонансное поглощение ультразвука в парамагнитных солях // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 28, вып. 1. — С. 38–48.

Альтшулер С. А. К теории электронного и ядерного парамагнитного резонанса под влиянием ультразвука // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 28, вып. 1. — С. 49–60.

Козырев Б. М. Электронный парамагнитный резнанс в жидких растворах солей // ДАН СССР. — 1955. — Т. 103, № 1. — С. 53–56.

Леонтьев Н. И. Измеритель магнитного поля, использующий магнитный резонанс протонов // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 28, вып. 1. — С. 78. (Работа выполнена в рамках советского Атомного проекта в Сухумском ФТИ.)

Маненков А. А., *Прохоров А. М.* Тонкая структура спектра парамагнитного резонанса иона Cr^{3+} в хромовом корунде // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 28, вып. 6. — С. 762.

Хуцишвили Г. Р. К термодинамической теории магнитной релаксации // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 29, вып. 3. — С. 329–333.

1956

Arnold J. T. Magnetic resonances of protons in ethyl alcohol // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 1. — P. 136–150.

Bloch F. Dynamical Theory of Nuclear Induction. II // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 1. — P. 104–135.

Bloembergen N. Proposal for a new type solid state maser // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 104. — P. 324.

Carver T. R., *Slichter C. P.* Experimental of the Overhauser nuclear polarization effect // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 4. — P. 975–985.

Dobrowolsky W., *Jones R. V.*, *Jeffries C. D.* Spin and magnetic moment of Mn^{53} // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 104, No 5. — P. 1378–1381.

Feher G. Method of polarizing nuclei in paramagnetic substances // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 103, No 2. — P. 500–501.

Feher G., *Gere E. A.* Polarization of phosphorous nuclei in silicon // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 103, No 2. — P. 501–503.

Feher G. Observation of nuclear magnetic resonances via the electron spin resonance line // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 103, No 3. — P. 834–835.

Levy R. A. Electron spin resonance in metal-ammonia solutions // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 1. — P. 31–37.

Proctor W. G., *Tanttila W. H.* Influence of ultrasonic energy on the relaxation of chlorine nuclei in sodium chlorate // Phys. Rev. — 1956. — Vol. 102, No 6. — P. 1757–1763. (Эффект поглощения ультразвука спиновой системой.)

Бородин П. М., *Скрипов Ф. И.* О некоторых применениях методики ядерного магнитного резонанса на радиочастотах // Радиотехника и электроника. — 1956. — Т. 1. — С. 882. ([histR] тезисы доклада на конференции МВО в Горьком.)

Померанцев Н. М. Изучение магнитного резонанса протонов // Изв. АН СССР. сер. физ. — 1956. — Т. 20. — С. 1238–1244. ([histR] По материалам дипломных работ физфака МГУ, которыми руководил Померанцев в 1953–1954 гг.)

1957

Abragam A., *Combrisson J.*, *Solomon I.* Polarisation nucléaire par effet Overhauser dans les solutions d'ions paramagnétiques // Compt. Rend. — 1957. — T. 245, No 2. — P. 157–160 (раствор $[(SO_3)_2NOK_2]$).

Anderson W. A., *McConnell H. M.* Analysis of high resolution NMR spectra // J. Chem. Phys. — 1957. — Vol. 26, No 6. — P. 1496–1504.

Bloch F. Generalized Theory of Relaxation // Phys. Rev. — 1957. — Vol. 105, No 4. — P. 1206–1222.

Garwin R. L., *Lederman L. M.*, *Weinrich M.* Observation of the failure of conservation of parity and charge conjugation in meson decays: the magnetic moment of the free muon(?) // Phys. Rev. — 1957. — Vol. 105. — P. 1415–1417.

Holm C. H. Observation of chemical shielding and spin coupling of ^{13}C nuclei in various chemical compounds by nuclear magnetic resonance // J. Chem. Phys. — 1957. — Vol. 26, No 3. — P. 707–708. (Вторая работа по ЯМР редкого изотопа углерода.)

Lauterbur P. C. ^{13}C nuclear magnetic resonance spectra // J. Chem. Phys. — 1957. — Vol. 26, No 1. — P. 217–218. (Первая работа по ЯМР редкого изотопа углерода.)

Lowe I. G., *Norberg R. E.* Free-Induction decays in solids // Phys. Rev. — 1957. — Vol. 107, No 1. — P. 46–61.

Pople J. A. The theory of chemical shifts in nuclear magnetic resonance. I. Induced current densities // Proc. Roy. Soc. London. — 1957. — Vol. 239A. — P. 541–556.

Redfield A.G. On the Theory of Relaxation Processes // IBM Journal of Research and Development. — 1957. — Vol. 1, No 1. — P. 19–31.

Валиев К.А. Магнитный резонанс на ядрах парамагнитных атомов // ЖЭТФ. — 1957. — Т. 33, №4. — С. 1045–1047.

Владимирский К.В. О модуляционных эффектах в ядерном магнитном резонансе // ЖЭТФ. — 1957. — Т. 33. — С. 529–530.

Владимирский К.В. О радиационной неустойчивости в экспериментах по ядерному магнитному резонансу // ЖЭТФ. — 1957. — Т. 33. — С. 532–533.

Гарифьянов Н.С., *Зарипов М.М.*, *Козырев Б.М.* О значении спина ^{57}Fe // ДАН СССР. — 1957. — Т. 113, №6. — С. 1243.

Гуревич В.Л. Скин-эффект и ферромагнитный резонанс // ЖЭТФ. — 1957. — Т. 33, вып. 6(12). — С. 1497–1504.

Кубарев А.В. Чувствительный ядерный магнитометр // ПТЭ. — 1957. — № 3. — С. 57–60. ([histR]По-видимому, прототип отечественного измерителя магнитного поля ИМИ-2.)

1958

Abragam A., *Proctor W.* Une novelle méthode de polarization dynamique des noyaux atomiques dans les solides // C.R. Acad. Sci. — 1958. — Vol. 246, No 14. — P. 2253–2255. (Солид-эффект динамической поляризации ядер (Solid effect of dynamic nuclear polarization).)

Abragam A., *Proctor W.G.* Spin temperature // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109. — P. 1441–1458.

Bloch F. Theory of Line Narrowing by Double-Frequency Irradiation // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 111, No 3. — P 841–853.

Bloembergen N., *Sorokin P.P.* Nuclear magnetic resonance in the cesium halides // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 110, No 4. — P. 865–875.

Erb E., *Motchane J.-L.*, *Uebersfeld J.* Effet de polarization nucléaire dans les liquids et les gaz adsorbés sur les charbons // Compt. Rend. — 1958. — Vol. 246, No 13. — P. 2121–2126. Sur une nuvelle méthode de polarization nucléaire dans les fluidesadsorbés sur les charbons. Extension aux solides et en particulier aux substances organiques irradiées // ibidem. — No 21. — P. 3050–3052.

Feher G., *Gordon J.P.*, *Buehler E.*, Gere E.A., Thurmond C.D. Spontaneous emission of radiation from an electron spin system // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109, No 1. — P. 221–222 (выполнен в промышленной организации).

de Gennes P.S. Sur la relaxation nucleaire dans les cristaux ioniques // J. Phys. Chem. Sol. — 1958. — Vol. 7. — P. 345–350.

Jennings D.A., *Tanttila W.H.*, *Kraus O.* Ultrasonically induced spin transitions in sodium iodide // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109, No 4. — P. 1059–1062.

Känzig W., *Woodruf T.O.* Electron spin resonance of H centers // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109, No 1. — P. 220–221 (выполн. в промышленной организации).

Kraus O., *Tanttila W.H.* Nuclear magnetization in the presence of ultrasonic excitation // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109, No 4. — P. 1052–1058.

McConnell H. M., *Robertson R. E.* Isotropic nuclear resonance shifts // J. Chem. Phys. — 1958. — Vol. 29, No 6. — P. 1361–1365.

Menes M., *Bolef D. I.* Observation of nuclear resonance acoustic absorption of ^{115}In in InSb // Phys. Rev. — 1958. — Vol. 109, No 1. — P. 218–219 (выполнен в промышленной организации).

Аксенов С. И. Сдвиг ядерного магнитного резонанса в молибдене // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 35. — С. 300–301. ([histR])

Александров Н. М., *Москалев В. В.* Радиочастотный спектрограф для количественного исследования контуров линии ядерного магнитного резонанса в кристаллах // Вестник ЛГУ. — 1958. — №16. — С. 14–20.

Альтшулер С. А., *Валиев К. А.* К теории продольной релаксации в жидких растворах парамагнитных солей // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 35, вып. 4(10). — С. 947–958. (К. А. Валиев отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие теории спиновой релаксации.)

Бородин П. М., *Скрипов Ф. И.* Химические смещения и тонкая структура сигналов ядерного магнитного резонанса ^{19}F. II. Органические фторсодержащие соединения // Известия вузов. Радиофизика. — 1958. — №4. ([histR])

Гарифьянов Н. С., *Козырев Б. М.* О влиянии кислорода на парамагнитное резонансное поглощение в α-дифенил-β-пикрилгидразиле // ДАН СССР. — 1958. — Т. 118, №4. — С. 738–739.

Константинов Ю. С. Применение синхронизованного автодина для изучения спектров ядерного магнитного резонанса // ПТЭ. — 1958. — № 2. — С. 105 ([histR]).

Курочкин С.С. К теории спинового генератора // Радиотехника и электроника. — 1958. — Т. 3. — С. 198–201.

1959

Andrew E. R., *Bradbury A.*, *Eades R. G.* Removal of dipolar broadening of nuclear magnetic resonance spectra of solids by specimen rotation // Nature. — 1959. — Vol. 183, No 4678. — P. 1802–1803. (Устранение дипольного взаимодействия при вращении образца под углом $\arccos(1/3^{1/2})$.)

Bloembergen N., *Shapiro S.*, *Pershan P.*, *Artman J.* Cross-relaxation in spin systems // Phys. Rev. — 1959. — Vol. 114, No 2. — P. 445–459.

de MM Borghini, *Abragam A.* Polarisation dynamique des protons à de basse température (1,5% absolute des protons du polysterène dans un champ magnétique de 12 000 gauss) // Comptes Rendus. — 1959. — T. 248, No 12. — P. 1803–1805.

Feher G. Electron Spin Resonance Experiments on Donors in Silicon. I. Electronic Structure of Donors by the Electron Nuclear Double Resonance Technique // Phys. Rev. — 1959. — Vol. 114. — P. 1219–1244.

Gossard A. C., *Portis A. M.* Observation of nuclear resonance in a ferromagnet // Phys. Rev. Letters. — 1959. — Vol. 3, No 4. — P. 164–166.

Gueron M., *Ryter Ch.* Overhauser effect in metallic lithium // Phys. Rev. Lett. — 1959. — Vol. 3, No 7. — P. 338–340.

Gutowsky H., *Kasumoto H.*, *Brown T.H.*, *Anderson D.H.* Proton magnetic resonance and electron spin densities of diphenylpicrilhydrazyl // J. Chem. Phys. — 1959. — Vol. 30. — P. 860.

Van der Waals J.H., *De Groot M.S.* Paramagnetic resonance in phosphorescent aromatic hydrocarbons. I: Naphthalene // Molecular Physics. — 1959 Oct 1. — Vol. 2(4). — P. 333–40. (Й. Ван дер Ваальс отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в ЭПР исследования фотовозбужденных триплетных молекул).

Александров Н.М. Ядерный магнитный резонанс в поликристаллическом диаспоре и монофториде углерода // Вестник Ленинградского университета. — 1959. — № 10. — С. 24. ([histR])

Баженов Н.М., *Волькенштейн М.В.*, *Кольцов А.И.*, *Хачатуров А.С.* Исследование полимеров методом ядерного магнитного резонанса // Высокомолекулярные соединения. — 1959. — Т. 1. — С. 1048–1055. ([histR])

Гарифьянов Н.С., *Козырев Б.М.* Парамагнитный резонанс в металлическом литии // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 37, №4(10). — С. 1017–1025.

1960

Blumberg W.E. Nuclear spin-lattice relaxation caused by paramagnetic impurities // Phys. Rev. — 1960. — Vol. 119, No 1. — P. 79–93.

Freeman R. Spin decoupling in high resolution proton magnetic resonance // Molecular Physics. — 1960. — Vol. 3, No 5. — P. 435–439.

Müller-Warmuth W. Untersuchungen zur Protonenpolarisation durch Overhauser-Effect und zur paramagnetischen Relaxation un $(SO_3)_2NO^{--}$ Lösungen // Zeitschrift für Naturforschung. — 1960. — Vol. 15A, No 11. — P. 927–939.

Tchao Y.H., *Hervé J.* Polarisation dynamique des protons d'un radical libre par saturation de la résonance électronique // Compte Rendu. — 1960. — Vol. 250. — P. 700–706. ([DPPH])

Блюменфельд Л.А., *Бендерский В.А.* Магнитные и диэлектрические свойства высокоупорядоченных макромолекулярных структур // ДАН СССР. — 1960. — Т. 133, №6. — С. 1451–1454.

Константинов Ю.С. Химические сдвиги ЯМР 19F во фторорганических соединениях // ДАН СССР. — 1960. — Т. 134, №4. — С. 868–870. ([histR])

Лебедев Я.С., *Цветков Ю.Д.*, *Воеводский В.В.* О спектрах электронного парамагнитного резонанса фторалкильного и нитрозофторалкильного радикалов в облученном тефлоне // Оптика и спектроскопия. — 1960. — Т. 8, 6. — С. 811–814. (*Lebedev Ja.S., Tsvetkov Yu.D., Voevodsky V.* (1960). Electron paramagnetic resonance spectra of fluoralkyl and nitrosofluoralkyl radicals in the irradiated teflon // Optika i spektroskopiya. — Vol. 8(6). — P. 811–814.)

Лундин А.Г., *Михайлов Г.М.* Спектрометр для исследования ядерного магнитного резонанса в кристаллах // ПТЭ. — 1960. — №2. — С. 90–92.

Лундин А.Г., *Александров К.С.*, *Михайлов Г.М.*, *Габуда С.П.* Исследования некоторых сегнетоэлектриков методом ядерного магнитного резонанса // Изв. АН СССР. сер. физ. — 1960. — Т. 24. — С. 1195. ([histR])

Хуцишвили Г. Р. Об ориентации ядер при насыщении запрещенного резонанса и при двойном резонансе // ЖЭТФ. — 1960. — Т. 38. — С. 942–947.

[histR]*Ягупольский Л. М.*, *Быстров В. Ф.*, *Утянская Э. З.* Исследование химических сдвигов магнитного резонанса ядер ^{19}F во фторбензолах с фторсодержащими заместителями // ДАН СССР. — 1960. — Т. 135, № 2. — С. 377.

1961

Doll R., Näbaeuer M. Experimental proof of magnetic flux quantization in a superconducting ring // Phys. Rev. Letters. — 1961. — Vol. 7, No 2. — P. 51–52. ([*])

Goldman M., *Landesman A.* Polarisation dynamique nuclèaire par contact thermique entre des systemes de spins // Comptes Rendus. — 1961. — T. 252. — P. 263–266.

Goldburg W. I. Nuclear magnetic resonance saturation in NaCl and CaF_2 // Phys. Rev. — 1961. — Vol. 122, No 3. — P. 831–836.

Ham F. S. Linear Effect of Applied Electric Field in Electron Spin Resonance // Phys. Rev. Lett. — 1961. — Vol. 7, Iss. 6. — P. 242–243.

Holcomb D. F., *Pedersen B.*, *Sliker T. R.* Energy transfer within a spin-system // Phys. Rev. — 1961. — Vol. 123, No 6. — P. 1951–1957.

Leifson O. S., *Jeffries C.D.* Dynamic polarization of nuclei by electron-nuclear dipolar coupling in crystals // Phys. Rev. — 1961. — Vol. 122, No 6. — P. 1781–1795.

Lambe J., *Laurance N.*, *McIrvine E. C.*, *Terhune R. W.* Mechanisms of double resonance in solids // Phys. Rev. — 1961. — Vol. 122, No 4. — P. 1161–1170.

Ludwig G. W., *Woodbury H. H.* Splitting of Electron Spin Resonance Lines by an Applied Electric Field // Phys. Rev. Lett. — 1961. — Vol. 7, Iss. 6. — P. 240–241.

Müller A., *Hotz G.*, *Zimmer K. G.* Electron Spin Resonances in Bacteriophage: Alive, Dead and Irradiated // Biochem. Biophys. Comm. — 1961. — Vol. 4. — P. 214–217.

Быстров В. Ф., *Декабрун Л. Л.*, *Кильянов Ю. Н.*, *Степанянц А. У.*, *Утянская Э. З.* Аппаратура высокого разрешения спектров ядерного магнитного резонанса // ПТЭ. — 1961. — № 1. — С. 122–125. ([histR])

Веселаго В. Г. Спиновый генератор // Радиотехника и электроника. — 1961. — Т. 6, № 5. — С. 849–851. ([histR])

Корст Н. Н. Макроскопические уравнения для для магнитного момента в некоторых задачах магнитного резонанса // ЖЭТФ. — 1961. — Т. 40. — С. 249–255.

Леманов В. В. Радиоспектроскоп для изучения ядерного магнитного резонанса в твердых телах // ПТЭ. — 1961. — № 1. — С. 126–128.

Провоторов Б. Н. О магнитном резонансном насыщении в кристаллах // ЖЭТФ. — 1961. — Т. 41, вып. 5. — С. 1582–1591. См. также Magnetic resonance saturation in crystals // Soviet Physics JETP. — 1962. — Vol. 14, No 5. — P. 1126–1131.

Самитов Ю. Ю. Ядерный магнитно-резонансный спектрометр высокой разрешающей силы // ПТЭ. — 1961. — № 5. — С. 100–108. ([histR])

Самитов Ю. Ю., *Арбузов Б. А.*, *Исаева З. Г.* Исследования циклических терпенов и их окисей методом протонного магнитного резонанса // ДАН СССР. — 1961. — Т. 137. — С. 589–592. ([histR])

Шамонин Ю. Я., *Гольдгаммер К. А.* Влияние парамагнитных примесей на спектры ядерного магнитного резонанса в некоторых органических соединений // ДАН СССР. — 1961. — Т. 140, №5. — С. 1136–1137 (Демонстрация действия сдвигающих и уширяющих парамагнитных реагентов).

1962

Anderson A. G. Nuclear spin absorption spectra in solids // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 125, No 5. — P. 1517–1527.

Anderson A. G., *Hartmann S. R.* Nuclear magnetic resonance in the demagnetized state // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 128, No 5. — P. 2023–2041.

Barchukov A. I., *Prokhorov A. M.* Investigation of disc resonators at super high frequency // Archives des sciences ed. par la société de physique et d'historie naturelle de Genève. Fascicule spécial. 10^{e} Colloque Ampère. Leipzig. 13–17 Septembre 1961. — 1962. — Vol. 14. — P. 494–497 ([hist] Возможно, первый советский доклад на Международной конференции по магнитному резонансу.)

Doyle W. T. Electron-nuclear double resonance studies of color centers // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 126, No 4. — P. 1421–1426.

Goldburg W. T. Static spin temperature experiments and the approach to thermal equilibrium in the rotating reference frame // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 128, No 4. — P. 1554–1561.

Hartman S. R., *Hahn E. L.* Nuclear double resonance in rotating frame // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 128, No 5. — P. 2042–2053.

Jung P., *Van Cakenberghe.* Application de la résonance paramagnétique électronique à la mesure du champ terrestre // Archives des sciences ed. par la société de physique et d'historie naturelle de Genève. Fascicule spécial. 10^{e} Colloque Ampère. Leipzig. 13–17 Septembre 1961. — 1962. — Vol. 14. — P. 132–137. (DPPH)

Ludwig G. W., *Ham F. S.* Electrically Induced Transitions between Spin Levels // Phys. Rev. Lett. — 1962. — Vol. 8, Iss. 5. — P. 210–212.

Ohnishi Shun-ichi, *Sugimoto, Shun-ichi* and *Nitta Isamu.* Temperature Dependence of the ESR Spectrum of Irradiated Oriented Polyethylene //J. Chem. Phys. — 1962. — Vol. 37. — P. 1283–1288.

Provotorov B. N. Theory of double Magnetic Resonance in Solids // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 128, No 1. — P. 75–76.

Redfield A. Statistical theory of spin resonance saturation // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 128, No 6. — P. 2251–2253.

Solomon I., *Ezratty J.* Magnetic resonance with strong radio-frequency fields in solids // Phys. Rev. — 1962. — Vol. 127, No 1. — P 78–87.

Tchao Y. H. Polarisation dynamique des protons dans le DPPH solide et dans ses solutions // Archives des sciences ed. par la société de physique et d'historie

naturelle de Genève. Fascicule spécial. 10e Colloque Ampère. Leipzig. 13–17 Septembre 1961. — 1962. — Vol. 14. — P. 479–486.

Липпмаа Э., *Сюгис А.* Сравнение спиновых стабилизаторов магнитного поля ЯМР-спектрометров высокой разрешающей силы // Труды Таллинского политехнического ин-та. Сер. А. (Сборник статей по химии и химической технологии.VIII). — 1962. — Вып. 195. — С. 59–64 ([hist])

Липпмаа Э. Ядерный магнитно-резонансный спектрометр высокой разрешающей силы со спиновой стабилизацией // Труды Таллинского политехнического ин-та. Сер. А (Сборник статей по химии и химической технологии.VIII). — 1962. — Вып. 195. — С. 65–78 ([hist])

Липпмаа Э., *Сюгис А.* Ядерный магнитно-резонансный спектрометр высокой разрешающей силы с электромагнитом // Труды Таллиннского политехнического ин-та. Сер. А (Сборник статей по химии и химической технологии.VIII). — 1962. — Вып. 195. — С. 83–100 ([hist])

Любимов А. Н., *Вареник А. Ф.* Устройство для стабилизации поляризующего магнитного поля спектрометра ядерно-магнитного резонанса. Авторское свидетельство СССР №153133. G 01 N27/78. Заявл. 13.03.62, опубл. 13.06.63, Бюлл. №4. ([histR])

Любимов А. Н., *Вареник А. Ф.*, *Слоним И. Я.* // Заводская лаборатория. — 1962. — Т. 8. — С. 991 ([histR])

Провоторов Б. Н. Квантовостатистическая теория перекрестной релаксации // ЖЭТФ. — 1962. — Т. 42, вып. 3. — С. 882–888. См. также A quantum statistical theory of cross relaxation // Soviet Physics JETP. — 1962. — Vol. 15, No 3. — P. 611–614.

1963

Agahigian H., *Vickers G. D.*, *Roscoe J.*, *Bishop J.* Homonuclear decoupling: ^{31}P–^{31}P // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 6. — P. 1621–1622.

Anderson W. A., *Freeman R.*, *Reily C. A.* Assignment of NMR spectra with the aid of double quantum transition // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 6. — P. 1518–1531.

Bovey F. A., *Anderson E. W.*, *Douglass D. C.*, and *Manson J. A.* Polymer NMR Spectroscopy. X. The Use of ^{1}H–^{1}H Spin Decoupling in the Elucidation of Polymer Structure // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 5. — P. 1199–1202.

Fessenden R. W., *Schuler R. H.* Electron spin resonance studies of transient alkyl radicals // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 9. — P. 2147–2195. (Р. Фессенден отмечен Премией имени Е. К. Завойского за фундаментальные исследования свободных радикалов, образующихся в жидкостях при радиационном воздействии, с помощью методов ЭПР-спектроскопии.)

Freed J. H., *Fraenkel G. K.* Theory of linewidths in electron spin resonance spectra // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 2. — P. 326–348. (Дж. Фрид отмечен Премией имени В. В. Воеводского и Премией имени Е. К. Завойского за вклад в изучение молекулярного движения в жидкостях методом многочастотного ЭПР.)

Goldman M., *Landesman A.* Dynamic polarization by thermal mixing between two spin system // Phys. Rev. — 1963. — Vol. 132, No 2. — P. 610–620.

Gutowsky H. S., *Mochel V. D.* Electron Coupling of Nuclear Spins. VII. J_{FF} for 2-Fluorobenzotrifluorides // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 5. — P. 1195–1199.

Happe J. A., *Ward R. L.* Isotropic NMR Shifts in Pyridine-Type Bases Complexed with Paramagnetic Ni^{II} and Co^{II} Acetylacetonates // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 5. — P. 1211–1218.

Hubbard P. S. Theory of nuclear magnetic relaxation by spin-rotational interactions in liquids // Phys. Rev. — 1963. — Vol. 131, No 3. — P. 1155–1165.

Redfield A. G., *Blume R. J.* Nuclear magnetic resonance saturation in lithium // Phys. Rev. — 1963. — Vol. 129, No 4. — P. 1545–1548.

Redington R. L., *Milligan D. E.* Molecular Rotation and *Ortho–Para* Nuclear Spin Conversion of Water Suspended in Solid Ar, Kr, and Xe // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 5. — P. 1276–1284.

Sheinblatt M. NMR Study of the Protolysis Kinetics in Simple Amino Acids. II. Sarcosine (the Zwitterion Form) // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 8. — P. 2005–2008.

Vincow G., *Johnson Ph.M.* Second Moments of Electron Spin Resonance Proton Hyperfine Spectra // J. Chem. Phys. — 1963. — Vol. 39, No 5. — P. 1143–1153.

Кессених А. В., *Маненков А. А.* Динамическая поляризация ядер при насыщении неоднородно уширенных линий электронного парамагнитного резонанса// ФТТ. — 1963. — Т. 5. — P. 1143–1146.

Кессених А. В., *Лущиков В. И.*, *Маненков А. А.*, *Таран Ю. В.* Релаксация и динамическая поляризация протонов в полиэтиленах // ФТТ. — 1963. — Т. 5. — P. 1640–1642.

Корст Н. Н., *Хазанович Т. Н.* О релаксации и форме линии парамагнитного резонанса в средах с большой вязкостью // ЖЭТФ. — 1963. — Т. 45, вып. 5. — С. 1523–1534.

Любимов А. Н., *Вареник А. Ф.*, *Федин Э. И.* Спектрометр ЯМР РС-40 // ЖСХ. — 1963. — Т. 4, № 6. — С. 919–923. ([histR])

1964

Cohen A. D., *Whiffen D. H.* Enhanced double quantum signals in nuclear magnetic resonance // Mol. Phys. — 1964. — Vol. 7, No 5. — P. 449–464.

Forsèn S. H., *Hoffman R. A.* Exchange rating by nuclear magnetic multiple resonance. III. Exchange reactions in systems with several nonequvalent sites // J. Chem. Phys. — 1964. — Vol. 40, No 5. — P. 1189–1196.

Forsèn S. H., *Gestbolm B.*, *Hoffman R. A.* Relative signs of nuclear spin coupling constants by means of transitory selective irradiation experiments // J. Mol. Spectrosc. — 1964. — Vol. 13, Iss. 1–4. — P. 221–239.

Goldman M. Forme des signaux de résonance magnétique nucléaire dans les solides // Journal de Physique. — 1964. — Vol. 25. — P. 843–852.

Jeener J., *Eisendraht H.*, *Van Steenwinkel R.* Thermodynamics of spin systems in solids // Phys. Rev. — 1964. — Vol. 133A, No 2. — P. 478–490.

Musher J. I. Role of multiple quantum transitions in NMR a three spin system // J. Chem. Phys. — 1964. — Vol. 40, No 4. — P. 983–990.

Paul E. G., *Grant D. M.* Carbon-13 magnetic resonance: I. Improved Carbon-13 magnetic resonance spectra obtained by proton decoupling and rapid sample spinning // J. Am. Chem. Soc. — 1964. — Vol. 86, Iss. 15. — P. 2977–2983.

Pople J. A., *Santry D. P.* Molecular orbital theory of nuclear spin coupling constants // Mol. Phys. — 1964. — Vol. 8, No 1. — P. 1–18.

Pople J. A., *Santry D. P.* A molecular orbital theory of hydrocarbons. III. Nuclear spin coupling constant // ibid. — 1964. — Vol. 9, No 4. — P. 312–318.

Кессених А. В., *Маненков А. А.*, *Пятницкий Г. И.* К объяснению экспериментальных данных по динамической поляризации протонов в облученных полиэтиленах // ФТТ. — 1964. — Т. 6. — С. 827–830 (Гипотеза о кросс-эффекте динамической поляризации).

Родак М. И. О возможных следствиях изменения спин-спиновой температуры спиновой системы в твердом теле // ФТТ. — 1964. — Т. 6, вып. 2. — С. 521–528.

1965

Anderson W., *Ernst R.* US-A 3475680 (Impulse Resonance Spectrometer Including a Time Averaging Computer and a Fourier Analyser). 1969 (submitted May 26 1965).

Assour J. H. Electron spin resonance of tetraphenylporphyne chelates // J. Chem. Phys. — 1965. — Vol. 43, No 7. — P. 2477–2489.

Freed J. H. Theory of saturation and double resonance effects in ESR spectra // J. Chem. Phys. — 1965. — Vol. 43, No 7. — P. 2312–2332.

Ham F. S. Dynamical Jahn-Teller Effect in Paramagnetic Resonance Spectra: Orbital Reduction Factors and Partial Quenching of Spin-Orbit Interaction // Phys. Rev. — 1965. — Vol. 138, Iss. 6A. — P. 1727–1740.

Lee M., *Goldburg W. T.* Nuclear magnetic resonance line narrowing by a rotating rf field // Phys. Rev. — 1965. — Vol. 140, No 4A. — P. 1261–1271.

Mori H. Memory function in theory of linie shape in magnetic resonance // Progr. Theor. Phys. — 1965. — Vol. 33. — P. 423–455.

Olkhov O. A., *Provotorov B. N.* Quantum statistical derivation of ferromagnetic resonance equation // Phys. Rev. — 1965. — Vol. 140A, No 4. — P. 1296–1303.

Sinivee V., *Lippmaa E.* Weak perturbing radio frequency field effects in nuclear magnetic double resonance I // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР, сер. Физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 2. — P.258–265.

Sinivee V., *Lippmaa E.* Nõrga raadiosagedusliku hãirevãlja efektid tuuma magnetilises toplet-resonantsis. II // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 4. — P. 564–568.

Stejskal E. G., *Tanner J. E.* Spin diffusion measurements. Spin echoes in the presence of a time dependent field gradient // J. Chem. Phys. — 1965. — Vol. 42, Iss. 1. — P. 288–292.

Буишвили Л. Л., *Зубарев Д. Н.* Статистическая теория ядерной спиновой диффузии // ФТТ. — 1965. — Т. 7, вып. 3. — С. 722–729.

Липпмаа Э. О применении двойного резонанса при исследовании спектров ЯМР // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 1. — P. 125–128.

Липпмаа Э., *Сюгис А.* Исследование спин-генератора на боковой полосе с фазово-синхронизованной частотой модуляции // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 1. — P. 129–132.

Липпмаа Э., *Пускар Ю.*, *Алла М.*, *Сюгис А.* Применение двойного ядерного магнитного резонанса со слабым возмущающим полем («тиклинг») для установления взаимного расположения уровней энергии спин-системы // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 2. — P. 306–307.

Липпмаа Э., *Оливсон А.*, *Паст Я.* Ядерный магнитный резонанс углерода-13. I // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 3. — P. 473–485.

Липпмаа Э., *Пускар Ю.*, *Алла М.* Исследование ядерного эффекта Оверхаузера методом двойного межъядерного магнитного резонанса («ИНДОР») // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 14, No 3. — P.487–489.

1966

Franz J. R., *Slichter Ch. P.* Studies of perturbation theory and spin temperature by rotary saturation of spins // Phys. Rev. — 1966. — Vol. 148, No 1. — P. 287–297.

Golding R. M., *Tennant W. C.*, *Kanekar C. R.* NMR studies of a series of iron (II) dithiocarbamate complexes // J. Chem. Phys. — 1966. — Vol. 45, No 7. — P. 2688–2693.

Lippmaa E., *Alla M.* Modulation transfer in nuclear magnetic double resonance of nitrogen compounds // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1966. — Vol. 15, No 4. — P.620–623.

Sinivee V., *Lippmaa E.* Weak perturbing radio-frequency field effects in nuclear magnetic double resonance // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. III. — 1966. — Vol. 15, No 1. — P. 64–75.

Буишвили Л. Л. К квантово-статистической теории динамической поляризации ядер // ЖЭТФ. — 1966. — Т. 49, вып. 6. — С. 1868–1874.

Липпмаа Э., *Паст Я.*, *Пускар Ю.*, *Алла М.*, *Сюгис А.* Импульсный метод исследования спектров ядерного магнитного двойного резонанса высокого разрешения // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem.

(Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1966. — Vol. 15, No 1. — P. 51–57.

Липпмаа Э., *Паст Я.*, *Оливсон А.*, *Салувере Т.* Ядерный магнитный резонанс углерода-13. II // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1966. — Vol. 15, No 1. — P. 58–63.

Липпмаа Э., *Паст Я.*, *Пускар Ю.*, *Алла М.*, *Сюгис А.* Импульсный метод исследования спектров ядерного магнитного двойного резонанса («ЯМДР») высокого разрешения // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1966. — Vol. 15, No 1. — P.51–57.

Липпмаа Э., *Алла М.* Межмолекулярный двойной резонанс и эффект Оверхаузера в жидкостях // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1966. — Vol. 15, No 3. — P. 473–476.

Липпмаа Э., *Ранг С.*, *Эйзен О.*, *Пускар Ю.* ЯМР спектроскопия углеводородов. I // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1965. — Vol. 15, No 4. — P. 615–620.

Любимов А. Н., *Вареник А. Ф.*, *Кессених А. В.* Спектрометр ЯМР РС-60 // ЖСХ. — 1966. — Т. 7, № 5. — С. 694–699. ([histR])

1967

Symposium on electron spin resonance spectroscopy. Michigan state university. August 1–3. 1966 // J. Phys. Chem. — 1967. — Vol. 71, No 1. — P. 1–214.

Bargon J., *Fischer H.*, *Johnsen U.* Kernresonanz-Emissionlinien während rascher Radikal-reactionen. I. Aufnahmeverfahren und Beispiele // Zschr. F. Naturforsch. — 1967. — Bd. 22a. — S. 1551–1555.

Freed J. H. Theory of saturation and double resonance effects in electron spin resonance spectra. II. Exchange vs dipolar mechanisms // J. Phys. Chem. — 1967. — Vol. 71, No 1. — P. 38–51.

Hwang Ch. F., *Hill D. A.* New effect in dynamic polarization // Phys. Rev. Lett. — 1967. — Vol. 18, No 4. — P. 110–112.

Hwang Ch. F., *Hill D. A.* Phenomenological model for new effect in dynamic polarization // Phys. Rev. Lett. — 1967. — Vol. 19, No 18. — P. 1011–1014.

Jesson J. P. Theory of isotropic nuclear resonance shifts in octahedral Co^{2+} systems // J. Chem. Phys. — 1967. — Vol. 47. — P. 579–581.

Jesson J. P. Isotropic nuclear resonance shifts in some trigonal Co(II) and Ni(II) chelate system // J. Chem. Phys. — 1967. — Vol. 47. — P. 582–591.

Lippmaa E., *Pehk T.*, *Past J.* Carbon-13 double resonance absorption spectra of strained molecules // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetised Fuus.-Matem. — 1967. — Vol. 16. — P. 345–356.

Olivson A., *Lippmaa E.*, *Past J.* Spin-lattice relaxation times of carbon-13 nuclei in organic compounds // Eesti NSV Teaduste Akad. Toimetsed

Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР, сер. Физика и математика). — 1967. — Vol. 16, No 3. — P. 390–392.

Ward H. R., *Lawler R. G.* Nuclear magnetic resonance emission and enhanced absorption in rapid organometallic reactions // J. Amer. Chem. Soc. — 1967. — Vol. 89. — P. 5518–5519.

Ацаркин В. А., *Моршнев С. К.* Подтверждение существования температуры спин-спиновых взаимодействий в ЭПР // Письма ЖЭТФ. — 1967. — Т. 6, вып. 4. — С. 578–579 (см. также JETP Letters. — 1967. — Vol. 6. — P. 88).

Ацаркин В. А., *Мефёд А. Е.*, *Родак М. И.* Электронная кросс-релаксация и ядерная поляризация в рубине // Письма в ЖЭТФ. — 1967. — Т. 6. — С. 942–943.

Кожушнер М. А., *Провоторов Б. Н.* К вынужденной динамической поляризации ядер // Радиоспектроскопия твердого тела (Труды Всесоюзного совещания, Красноярск, 1964). — М.: Атомиздат, 1967. — С. 5.

Липпмаа Э., *Алла М.*, *Сюгис А.* Внутримолекулярный и межмолекулярный эффекты Оверхаузера в ароматических соединениях с третичной бутильной группой // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1967. — Vol. 16, No 3. — P. 385–389.

Салум В. Определение спектральных констант ЯМР при помощи ЭЦВМ // Eesti NSV Teaduste Akad.Toimetsed Fuus.-Matem. (Известия АН ЭССР. Сер. физика и математика). — 1967. — Vol. 16, No 4. — P. 497–500.

1968

Atsarkin V. A., *Mefeod A. E.*, *Rodak M. I.* Electron cross relaxation and nuclear polarization in ruby // Phys. Letters. — 1968. — Vol. 27A, No 1. — P. 57–58. (В. Ацаркин отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие спиновой термодинамики и изучение явления динамической ядерной поляризации.)

Ham F. S. Effect of linear Jahn-Teller coupling on paramagnetic resonance in a ^{2}E state // Phys. Rev. — 1968. — Vol. 166, Iss. 2. — P. 307–321.

Pople J. A., *McIver Jr J. W.*, *Ostlund N. S.* Self-consistent perturbation theory. II. Nuclear-spin coupling constants// J. Chem. Phys. — 1968. — Vol. 49, No 7. — P. 2965–2970.

Slucher R. E., *Hahn E. L.* Sensitive detection of nuclear quadrupole interactions in solids // Phys. Rev. — 1968. — Vol. 166, No 2. — P. 332–347.

Waugh J. S., *Huber L. M.*, *Haeberlen U.* Approach to high-resolution NMR in solids // Phys. Rev. Lett. — 1968. — Vol. 20, No 5. — P. 180–182.

Буишвили Л. Л., *Звиададзе М. Д.*, *Хуцишвили Г. Р.* Квантовостатистическая теория динамической поляризации ядер в случае неоднородного уширения динии ЭПР // ЖЭТФ. — 1968. — Т. 54, вып. 3. — С. 876–890.

Гарифьянов Н. С., *Козырев Б. М.*, *Федотов В. Н.* Ширина линии ЭПР жидких растворов этиленгликолевого комплекса для четных и нечетных изотопов хрома // ДАН СССР. — 1968. — Т. 178, № 4. — С. 808–810.

1969

Closs G. G. Mechanism explaining nuclear spin polarization in radical combination reactions // J. Amer. Chem. Soc. — 1969. — Vol. 91. — P. 4552–4554.

Ham F. S., *Schwarz W. M.*, *O'Brien M. C. M.* Jahn-Teller Effects in the Far-Infrared, EPR, and Mössbauer Spectra of MgO : Fe^{2+} // Phys. Rev. — 1969. — Vol. 185, Iss. 3. — P. 548–567.

Hill D. A., *Ketterson J. B.*, *Miller R. C.*, *Moretti A.*, *Niemann R. C.*, *Windmiller L. R.*, *Yokosawa A.*, *Hwang C. F.* Dynamic proton polarization in butanol water below 1 K // Phys. Rev. Lett. — 1969. — Vol. 23, No 9. — P. 460–462.

Hinkley C. C. Paramagnetic shifts in solution of cholesterol and the dipiridine adduct of trisdipivalomethanatheuropium (II) // J. Am. Chem. Soc. — 1969. — Vol. 91, No 18. — P. 5160–5162.

Johnson C. Some comments on the calculation of NMR line shapes for exchanging AB spin systems // J. Magn. Res. — 1969. — Vol. 1, No 1. — P. 98–104.

Kaptein R., *Oosterhoff J. L.* Chemically induced dynamic nuclear polarization. II. (Relation with anomalous ESR spectra) // Chem. Phys. Lett. — 1969. — Vol. 4. — P. 195–197. (Р. Каптейн отмечен Премией имени В. В. Воеводского за вклад в развитие теории и приложений химической поляризации ядер, развитие новых приложений ядерного магнитного резонанса в структурной биологии.)

Kaptein R., *Oosterhoff J. L.* Chemically induced dynamic nuclear polarization. III. (Anomalous multiplets of radical coupling and disproportionation products) // Chem. Phys. Lett. — 1969. — Vol. 4. — P. 214–216.

Schneider H., *Schmiedel H.* Negative time development of a nuclear spin system // Phys. Lett. — 1969. — Vol. 30A, No 5. — P. 298–299.

Альтшулер С. А., *Аухадеев Ф. Л.*, *Теплов М. А.* Ядерная спин-решеточная релаксация в этилсульфате туллия // Письма в ЖЭТФ. — 1969. — Т. 9, вып. 1. — С. 46–48.

Владимирцев Ю. В., *Голенищев-Кутузов В. А.*, *Копвиллем У. Х.*, *Шамунов Н. А.* Двойной акусто-магнитный резонанс ^{53}Cr–^{27}Al в рубине // Письма ЖЭТФ. — 1969. — Т. 9, вып. 1. — С. 85–87.

Клейман Ю. Л., *Морковин Н. В.*, *Щербаков В. А.* Изотопные сдвиги ^{19}F в растворах фторкомплексов // ЖОХ. — 1969. — Т. 39, № 8. — С. 1893–1894. (^{histR}. Работа выполнена на спектрометре разработки Ленинградского СКБ Аналитического приборостроения АН СССР.)

Мефёд А. Е., *Родак М. И.* Исследования влияния ядерного спин-спинового резервуара на форму линии ЯМР // Тезисы докладов Всесоюзной юбилейной конференции по парамагнитному резонансу. 24–29 июня 1969 г. — Казань, 1969. — С. 187–188.

1970

Adrian F. J. Role of diffusion-controlled reactions in chemically induced nuclear spin polarization // J. Chem. Phys. — 1970. — Vol. 53. — P. 3374–3375.

Closs G. L., Trifunac A. D. Theory of chemically induced nuclear spin polarization. III. Effect of isotropic g-shifts in the components of the radical pairs with one hyperfine interactions // J. Amer. Chem. Soc. — 1970. — Vol. 92. — P. 2183–2184.

Erlich R. H., Roach E., Popov A. I. Solvatation studies by sodium-23 and lithium-7 nuclear magnetic resonance // J. Am. Chem. Soc. — 1970. — Vol. 92, No 16. — P. 4989–4991.

Ernst R. R. Magnetic resonance with stochastic excitation // J. Magn. Res. — 1970.

Horrocks W. D. Evaluation of dipolar nuclear magnetic resonance shifts // Inorg. Chem. — 1970. — Vol. 9, No 3. — P. 690–692.

Keiser R. J. Coherent spectrometry with noise signals // J. Magn. Res. — 1970. — Vol. 3, Iss. 1. — P. 28–43.

*Lippmaa E., Pehk T., Andersson K.**, *Rappe C.** Carbon-13 chemical shifts of α, β-unsaturated acids // Org. Magn. Reson. — 1970. — P. 109–121. (* — Университет Упсала, Швеция.)

Rosenberger H., Pettig M., Pehk T., Lippmaa E. Kernresonanzunterversuchungen am 1,10-Phenantrolin und seinen Komplexbildungen — IV: ^{13}C Resonanzen des freien und protonierten 1, 10 Phenanthrolins // Org. Magn. Reson. — 1970. — P. 329–336 (Липпмаа с соавторами из Иены и Грейфсвальда, ГДР).

Lippmaa E., Pehk T., Paasivirta J., Belikova N., Platè A. Carbon-13 chemical shifts of bycyclic compounds // Org. Magn. Reson. — 1970. — P. 581–604. (Соавторы из Финляндии, Ювяскуля, и Московского Университета.)

Ацаркин В. А., Моршнев С. К. Проверка концепции спин-спиновой температуры в опытах по насыщению электронного парамагнитного резонанса // ЖЭТФ. — 1970. — Т. 58, вып. 6. — С. 1884–1895.

Бекаури П. И., Берулава Б. Г., Санадзе Т. И., Хаханашвили О. Г., Хуцишвили Г. Р. Дискретное насыщение спектра электронного резонанса U^{3+} в CaF_2 // ЖЭТФ. — 1970. — Т. 59, вып. 2. — С. 368–376.

Бучаченко А. Л., Рыков С. В., Кессених А. В., Былина Г. С. Химическая поляризация ядер в реакциях распада перекисей // ДАН СССР. — 1970. — Т. 190. — С. 839–842. (А. Бучаченко отмечен Премией имени В. В. Воеводского за вклад в исследование с помощью радиоспектроскопических методов механизмов химических реакций, строения и свойств свободных радикалов.)

Кессених А. В., Прокофьев Е. П., Негребецкий В. В. Определение относительных знаков констант спин-спинового взаимодействия в нитроэтилене — ^{15}N методом локального гомо-гетероядерного резонанса // Известия АН СССР. Сер. хим. — 1970. — С. 2374–2379.

Кессених А. В., Рыков С. В., Бучаченко А. Л. Измерение химической поляризации ядерного магнитного момента газообразных продуктов реакции// ЖЭТФ. — 1970. — Т. 59, вып. 2(8). — С. 387–393.

Липпмаа Э., Пехк Т., Бучаченко А. Л., Рыков С. В. Химическая поляризация ядер углерода-13 // ДАН СССР. — 1970. — Т. 195. — С. 632–635.

Мефёд А. Е., *Родак М. И.* Экспериментальное исследование проявлений ядерного спин-спинового резервуара в ЯМР // ЖЭТФ. — 1970. — Т. 59, вып. 2. — С. 404–413.

Слоним Я. И., *Урман Я. Г.*, *Коновалов А. Г.* Влияние магнитного поля на динамическую поляризацию ядер при химической реакции // ДАН СССР. — 1970. — Т. 195. — С. 153–154.

1971

Adrian F. J. Theory of anomalous electron spin resonance spectra of free radicals in solution. Role of diffusion-controlled separation and re-encounter of radical pairs // J. Chem. Phys. — 1971. — Vol. 54. — P. 3918–3923. (В теорию химически индуцированной ядерной поляризации вводится учет повторных столкновений радикальной пары по Нойесу. (The theory of chemically induced nuclear polarization introduces the account of repeated collisions of the radical pair according to Noyes.))

Allerhand A., *Doddrell D.*, *Komorski R.* Natural abundance carbon-13 partially relaxed fourier transform nuclear magnetic resonance spectra of complex molecules // J. Chem. Phys. — 1971. — Vol. 55, No 1. — P. 189–197.

Gerritsma C. J., *Oosting P. H.*, *Trappeniers N. J.* Proton-spin-lattice relaxation and self-diffusion in methanes. II. Experimental result for proton-spin-lattice relaxation times // Physica. — 1971. — Vol. 51, Iss. 3. — P. 381–394.

Kessenikh A. V., *Negrebetskij V. V.*, *Bogdanov V. S.* Indirect measurement of coupling constants $J_{^{11}B-^{1}H}$ in some organic compounds // J. Magn. Res. — 1971. — Vol. 5. — P. 145–148.

Kessenikh A. V., *Rykov S. V.*, *Yankelevich A. Z.* Chemical polarization of proton spins in molecules contained ^{13}C // Chem. Phys. Lett. — 1971. — Vol. 9. — P. 347–349.

McConnell H. M., *Hubbell W. L.* Molecular motion in spin-labeled phospholipids and membranes // J. Am. Chem. Soc. — 1971. — Vol. 93, No 2. — P. 314–326. (Хаббел отмечен Премией имени Е. К. Завойского за развитие и применение метода адресных спиновых меток.)

Norris J. R., *Uphaus R. A.*, *Crespi H. L.*, *Katz J. J.* Electron spin resonance of chlorophyll and the origin of signal I in photosynthesis // Proc. Natl. Acad. Sci. — 1971. — Vol. 68, No 3. — P. 625–628. (Дж. Норрис отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в определение молекулярной структуры парамагнитных частиц в реакционных центрах фотосинтеза.)

Rihm W.-K., *Pines A., Waugh J. S.* Time reversal experiments in dipolar-coupled spin systems // Phys. Rev. — 1971. — Vol. B3, No 3. — P. 684–696. (Спин-эхо во внутренних полях, указывает на частичную обратимость спин-спиновой релаксации. (Spin-echo in the internal fields, indicates a partial reversibility of spin-spin relaxation.))

Кессених А. В., *Негребецкий В. В.*, *Васильев А. Ф.*, *Игнатова Н. П.*, *Швецов-Шиловский Н. И.*, *Мельников Н. Н.* Величины и знаки констант спин-

спинового взаимодействия в некоторых фосфадиазолах // ЖСХ. — 1971. — Т. 12. — С. 789–791 ([histR] Открытие нового типа соединений.)

Назаров В. Б., *Забродин В. А.*, *Краинский И. С.*, *Гальперин Л. Н.* Компенсаторы неоднородности магнитного поля сверхпроводящего соленоида // ПТЭ. — 1971. — № 5. — С. 208–210. ([histR])

1972

Feher G., *Okamura M. Y.*, *McElroy J. D.* Identification of an electron acceptor in reaction centers of Rhodopseudomonas spheroides by EPR spectroscopy // Biochim. Biophys. Acta–Bioen. — 1972. — Vol. 267, No 1. — P. 222–226. (Дж. Фейер отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие магнитного резонанса в физике твердого тела и в исследование фотосинтеза.)

Leggett A. J. Interpretation of Recent Results on He^3 below 3 mK: A New Liquid Phase? // Phys. Rev. Lett. — 1972. — Vol. 29, Iss. 18. — P. 1227–1230. (*Nobel Prize!*)

McFarlane W., *Rycroft D. S.* Nuclear magnetic double resonance studies of the effect of deuterium substitution upon $^1J_{31\ \mathrm{P\text{-}H}}$ in dimethyl phosphite // Mol. Phys. — 1972. — Vol. 24. — P. 893–895.

Mims W. B. Envelope modulation in spin-echo experiments // Phys. Rev. B. — 1972. — Vol. 5, No 7. — P. 2409–2419. (В. Мимс отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в создание электронной спин-эхо спектроскопии и ее применений в физике, химии и биологии.)

Pines A., *Gibby M. G.*, *Waugh J. S.* Proton-enhanced nuclear induction spectroscopy ^{13}C chemical shielding anisotropy in some organic solids // Chem. Phys. Lett. — 1972. — Vol. 15, No 3. — P. 373–376.

Альтшулер С. А., *Валишев Р. М.*, *Кочелаев Б. И.*, *Хасанов А. Х.* Исследование фононной системы по мандельштам-бриллуэновскому рассеянию света в условиях насыщения магнитного резонанса // ЖЭТФ. — 1972. — Т. 62, вып. 2. — С. 639–651.

Кессених А. В., *Негребецкий В. В.*, *Богданов В. С.*, *Штейншнейдер А. Я.* Косвенное измерение констант некоторых винильных соединений бора // Журнал структурной химии. — 1972. — Т. 13, № 2. — С. 226–230.

Назаров В. Б., *Забродин В. А.*, *Краинский И. С.*, *Гальперин Л. Н.* Компенсаторы неоднородности соленоидального магнитного поля. Авторское свидетельство СССР N 335683, кл. 605f 7/00. 1972. Бюлл. № 13. ([histR])

Сагдеев Р. З., *Лёшина Т. В.*, *Камха М. А. и др.* Влияние магнитного поля на соотношение продуктов реакции пентафторбензилхлорида с *n*-C_4H_9Li // Известия АН СССР. Сер. хим. — 1972. — № 9. — С. 2128–2129.

Сагдеев Р. З., *Салихов К. М.*, *Лёшина Т. В.*, *Шейн В.*, *Молин Ю. Н.* Влияние магнитного поля на радикальные реакции // Письма в ЖЭТФ. — 1972. — Т. 16. — С. 599–602. (Р. Сагдеев, Ю. Молин и К. Салихов удостоены Премии им. В.В. Воеводского (Л. Р. Салихов — также премии им. Е. К. Завойского).)

1973

Bystrov V. F., Ivanov V. T., Portnova S. L., Balashova T. A., Ovchinnikov Yu. A. Refinement of the angular dependence of the peptide vicinal NH-C^{α}H coupling constant // Tetrahedron. — 1973. — Vol. 29, No 6. — P. 873–877.

Lippmaa E., Saluvere T., Pehk T., Olivson A. Chemical polarization of ^{13}C and ^{15}N nuclei in the thermal decomposition of diazoaminobenzene (1,3-diphenyltriazene) // Org. Mag. Reson. — 1973. — Vol. 5. — P. 429–436.

Kessenikh A. V., Rykov S. V., Ignatenko A. V., Shteinshneider A. Ya. Chemically induced nuclear polarization in products of cage recombination of methyl radical // Org. Mag. Reson. — 1973. — Vol. 5. — P. 537–541. (В этой работе авторы, наметив правильный подход, не сумели довести до конца разработку теории химической поляризации ядер с учетом химических превращений радикалов в промежутке между образованием радикальной пары и рекомбинацией трансформированных радикалов.[histR])

Lauterbur P. C. The image formation by induced local interaction // Nature. — 1973. — Vol. 242. — P. 190–191. (*16 марта 1973*. Одна из основополагающих работ в становлении ЯМР томографии. (One of the fundamental works in the development of NMR tomography.))

Leggett A. J. Microscopic Theory of NMR in an Anisotropic Superfluid (^{3}He) // Phys. Rev. Lett. — 1973. — Vol. 31, Iss. 6. — P. 352–355. (Nobel Prize!)

Pines A., Gibby M. G., Waugh J. S. Proton enhanced NMR of dilute spins in solids // J. Chem. Phys. — 1973. — Vol. 59, No 2. — P. 569–590.

Sagdeev R. Z., Molin Y. N., Salikhov K. M., Leshina T. V., Kamha M. A., Shein S. M. Effects of magnetic field on chemical reactions. Organic Magnetic Resonance. — 1973. — Vol. 5, No 12. — P. 603–605. (Молин отмечен Премией имени В.В. Воеводского за вклад в развитие спиновой химии и методов детектирования промежуточных частиц на основе квантовой когерентности.)

Аухадеев Ф. Л., Валеев И. И., Конов И. С., Скребнев В. А., Теплов М. А. Ядерный магнитный резонанс и релаксация в этилсульфате тулия // ФТТ. — 1973. — Т. 15, № 1. — С. 235–240.

Буишвили Л. Л., Звиададзе М. Д., Фокина Н. П. Роль диполь-дипольного резервуара в двойном электронно-ядерном резонансе на далеких ядрах // ЖЭТФ. — 1973. — Т. 65, вып. 6. — С. 2272–2279.

Лагодзинская Г. В., Забродин В. А., Королев А. М., Манелис Г. Б., Еременко Л. Т. Разделение сигналов и анализ спектров ПМР типа ABKPQY смеси эритро- и трео- изомеров динитрата бутандиол-3,4-оксида-1,2 на спектрометре с рабочей частотой 200 МГц // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1973. — № 7. — С. 1549–1554. ([histR])

1974

*Damadian R.*US Patent 3789832, field 17 March 1972, issued 5 February 1974.

Ditchfield R. Self consistent perturbation theory of diamagnetism. I. Gauge invariant LCAO method for NMR chemical shifts // Mol. Phys. — 1974. — Vol. 27. — P. 789–807.

Goldman M., *Chapellier M.*, *You Hoang Chao*, *Abragam A.* Principles of nuclear magnetic ordering // Phys. Rev. — 1974. — Vol. 10B, No 1. — P. 226–242.

Hinshow W. S. Spin mapping. The application of moving gradients to NMR // Phys. Lett. — 1974. — Vol. 48A, No 2. — P. 87–88.

Jacquino J. F., *Wenkenbach W. T.*, *Chapellier M.*, *Goldman M.*, *Abragam A.* Ferromagnetism nucléaire // Compt. Rend. — 1974. — T. 278B, No 3. — P. 93–96.

Kaiser R. Application of the Hadamard transform to NMR spectrometry with pseudonoise excitation // J. magn. res. — 1974. — Vol. 15, Iss. 1. — P. 44–63.

Kaiser R., *Bartholdi E.*, and *Ernst R. R.* Diffusion and field-gradient effects in NMR Fourier spectroscopy // J. Chem. Phys. — 1974. — Vol. 60, No 8. — P. 2966–2979.

Müller L., *Anil Kumar*, *Baumann T.*, *and Ernst R. R.* Transient Oscillations in NMR Cross-Polarization Experiments in Solids // Phys. Rev. Lett. — 1974. — Vol. 32, No 5. — P. 1402–1406.

Rhim W.-K., *Elleman D. D.*, *Schreiber L. B.*, *Vaughan R.* Analysis of multiple pulse NMR in solids. II // J. Chem. Phys. — 1974. — Vol. 60, No 11. — P. 4595–4604.

Валишев Р. М., *Кочелаев Б. И.*, *Хасанов А. Х.* Усиление электромагнитных колебаний, обусловленное неравновесностью диполь-дипольного резервуара парамагнетика // ФТТ. — 1974. — Т. 16, вып. 12. — С. 3726–3728.

1975

Den Hollander J. A. Radical pair substitution in CIDNP. Co-operative effects // Chem. Phys. — 1975. — Vol. 10. — P. 167–184. Подход к теории ХПЯ трансформирующихся радикальных пар, доведе до логического совершенства. (The approach to the theory of CIDNP in products of transforming radical pairs is brought to logical perfection.)

Hester R. K., *Ackerman J. L.*, *Cross V. R.*, *Waugh J. S.* Resolved dipolar coupled spectra of dipole nuclear spins in solids // Phys. Rev. Lett. — 1975. — Vol. 34, Iss. 16. — P. 993–995.

Knorr R., *Polzer A. W. H.*, *Bischler E.* Conformational analysis by spin transmission into rotating alkyl groups // J. Am. Chem. Soc. — 1975. — Vol. 97, No 3. — P. 643–644.

Knorr R., *Weiss A.*, *Polzer A. W. H.*, *Bischler E.* Conformational analysis by spin transmission into rotating and rigid phenyl groups // J. Am. Chem. Soc. — 1975. — Vol. 97, No 3. — P. 644–646.

Müller L., *Kumar A.*, *Ernst R. R.* Two-dimensional carbon-13 NMR spectroscopy // J. Chem. Phys. — 1975. — Vol. 63. — P. 5490–5491.

Першин А. Д., *Победимский Д. Г.*, *Курбатов В. А.*, *Бучаченко А. Л.* Химическая поляризация ядер. Сообщение 1. Поляризация ядер ^{31}P при взаимодействии фосфитов с гидроперекисями // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1975. — С. 581–586. ([histR])

Подоплелов А. В., *Сагдеев Р. З.*, *Лёшина Т. В. и др.* Проявление Δg-механизма влияния магнитного поля в реакции декафторфенилдифенилметана с бутиллитием // ДАН СССР. — 1975. — Т. 225. — С. 866–867.

1976

Aue W. P., *Bartholdi E.*, *Ernst R. R.* Two-dimensional spectroscopy. Application to nuclear magnetic resonance // J. Chem. Phys. — 1976. — Vol. 64. — P. 2229–2246.

Hester R. K., *Ackerman J. L.*, *Neff B. L.*, *Waugh J. S.* Separated local field spectra in NMR determination of structure of solids // Phys. Rev. Lett. — 1976. — Vol. 36, iss. 18. — P. 1081–1083.

Hoult D. I., *Richards R. E.* The signal to noise ratio of the nuclear magnetic resonance // J. Magn. Reson. — 1976. — Vol. 24. — P. 71–85.

Kabachnik M. I., *Mastryukova T. A.*, *Fedin E. I.*, *Vaisberg M. S.*, *Morozov L. L.*, *Petrovsky P. V.*, *Shipov A. E.* An NMR study of optical isomers in solution // Tetrahedron. — 1976. — Vol. 32, No 14. — P. 1719–1728.

Rihm W. K., *Burum D. P.*, *Elleman D. D.* Multiple-pulse spin locking in dipol system // Phys. Rev. Lett. — 1976. — Vol. 37, No 26. — P. 1764–1766.

Wollan D. S. Dynamic nuclear polarization with an inhomogeneously broadened ESR line I. Theory // Phys. Rev. B. — 1976. — Vol. 13, No 9. — P. 3671–3685.

Wollan D. S. Dynamic nuclear polarization with an inhomogeneously broadened ESR line II. Experiment // Phys. Rev. B. — 1976. — Vol. 13, No 9. — P. 3686–3696.

Бердинский В. Л., *Бучаченко А. Л.*, *Першин А. Д.* Теоретический анализ радиочастотного мазера с химической накачкой // Теоретич. эксперим. хим. — 1976. — С. 666–672. ([histR])

Бучаченко А. Л., *Галимов Э. М.*, *Ершов В. В. и др.* Обогащение изотопов, индуцированное магнитными взаимодействиями в химических реакциях // ДАН СССР. — 1976. — Т. 228. — С. 379–382. ([*])

1977

Bachmann P., *Aue W. P.*, *Müller L.*, *Ernst R. R.* Phase separation in two-dimensional spectroscopy // J. Magn. Reson. — 1977. — Vol. 28, No 1. — P. 29–39.

Barone S. R., *Narcowich M. A.*, *Narcowich F. J.* Floquet theory and applications // Phys. Rev. — 1977. — Vol. A15. — P. 1109–1125.

Bleich H. E., *Redfield A. G.* Modified Hartmann–Hahn double NMR in solids for high resolution at low gyromagnetic ratio: CaF_2 and quadrupole interaction in MgF_2 // J. Chem. Phys. — 1977. — Vol. 67, No 11. — P. 5040–5047.

Bodenhausen G., *Freeman R.*, *Niedermeyer R.*, *Turner D. L.* Double fourier transformation in high-resolution NMR // J. Magn. Reson. — 1977. — Vol. 26, No 1. — P. 133–164.

Bodenhausen G., *Freeman R.*, *Turner D. L.* Suppression of artifacts in two-dimensional *J* spectroscopy // J. Magn. Reson. — 1977. — Vol. 27, No 3. — P. 511–514.

Brown T.R. and Ogawa S. 31P nuclear magnetic resonance kinetic measurements on adenylatekinase // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1977. — Vol. 74, Iss. 9. — P. 3627–3631.

Frankevich E.L., *Pristupa A.I.*, *Lesin V.I.* Magnetic resonance of short-lived triplet exciton pairs detected by fluorescence modulation at room temperature // Chem. Phys. Lett. — 1977. — Vol. 47, No 2. — P. 304–308.

Kulikov A.V., *Likhtenstein G.I.* The use of spin relaxation phenomena in the investigation of the structure of model and biological systems by the method of spin labels // Advances in molecular relaxation and interaction processes. — 1977. — Vol. 10, No 1. — P. 47–79. (Герц. Лихтенштейн отмечен Премией имени В.В. Воеводского за достижения в биологических исследованиях с помощью спектроскопии ЭПР.)

Mansfield P. Multi-planar image formation using NMR spin-echoes // J. Phys. C. Solid state physics. — 1977. — Vol. 10. — P. 155–158. (Одна из основополагающих работ в становлении ЯМР-томографии. (One of the fundamental works in the development of NMR tomography.))

Maudsley A.A., *Ernst R.R.* Indirect detection of magnetic resonance by heteronuclear two-dimensional spectroscopy // Chem. Phys. Lett. — 1977. — Vol. 50. — P. 368–372.

Maudsley A.A., *Müller L.*, *Ernst R.R.* Cross-correlation of spin-decoupled NMR spectra by heteronuclear two-dimensional spectroscopy // J. Magn. Reson. — 1977. — Vol. 28, No 2. — P. 463–469.

Rihm W.K., *Burum D.P.*, *Elleman D.D.* ADRF experiments using near nπ pulsed strings // Phys. Lett. — 1977. — Vol. 62A. — P. 507–508.

Rybachevski E.F., *Neff B.L.*, *Waugh J.S.*, *Sherfinski J.S.* High resolution ^{13}C NMR in solids: ^{13}C local fields of CH, CH_2 and CH_3 // J. Chem. Phys. — 1977. — Vol. 67, No 3. — P. 1231–1236.

Schäublin S., *Wokaun A.*, *Ernst R.R.* Pulse techniques applied to chemically induced dynamic nuclear polarization // J. Magn. Reson. — 1977. — Vol. 27, No 2. — P. 273–302.

Vega S., *Pines A.* Operator formalism for double quantum NMR // J. Chem. Phys. — 1977. — Vol. 66, No 2. — P. 5624–5645.

Wokaun A., *Ernst R.R.* Selective detection of multiple quantum transitions in NMR by two-dimensional spectroscopy // Chem. Phys. Lett. — 1977. — Vol. 52. — P. 407–412. (Indirect detection of magnetic resonance by heteronuclear two-dimensional spectroscopy.)

Wokaun A., *Ernst R.R.* Selective excitation and detection in multilevel spin systems: Application of single transition operators // J. Chem. Phys. — 1977. — Vol. 67, No 4. — P. 1752–1758.

1978

Stokes H.T., *Ailion D.C.* Nuclear-magnetic-resonance methods for identifying and studying diffusion of different spin species in heteronuclear systems // Phys. Rev. — 1978. — Vol. B18, No 1. — P. 141–156.

Алла М. А., Кундла Э. И., Липпмаа Э. Т. Селективное определение анизотропных магнитных взаимодействий из спектров ЯМР высокого разрешения порошкообразных образцов // Письма ЖЭТФ. — 1978. — Т. 27, вып. 4. — С. 208–211. AMPERE Prize

Ерофеев Л. Н., Шумм Б. А., Манелис Г. Б. Релаксация ядерной намагниченности в условиях многоимпульсного эксперимента ЯМР // ЖЭТФ. — 1978. — Т. 75, вып. 5(11). — С. 1837–1846.

Иванов Ю. Н., Провоторов Б. Н., Фельдман Э. Б. О спиновой динамике в многоимпульсных экспериментах // Письма в ЖЭТФ. — 1978. — Т. 27, вып. 3. — С. 164–168.

Иванов Ю. Н., Провоторов Б. Н., Фельдман Э. Б. Термодинамическая теория сужения линий спектров ЯМР в твердом теле // ЖЭТФ. — 1978. — Т. 75, вып. 5(11). — С. 1847–1961.

1979

Jeener J., Meier B. H., Bachmann P., Ernst R. R. Investigation of exchange processes by two-dimensional NMR spectroscopy // J. Chem. Phys. — 1979. — Vol. 71. — P. 4546–4553.

1980

Linder M., Höhener A., Ernst R. R. Orientation of tensorial interactions determined from two-dimensional NMR powder spectra // J. Chem. Phys. — 1980. — Vol. 73, Iss. 10. — P. 4959–4970.

Osheroff D. D., Cross M. C., Fisher D. S. Nuclear Antiferromagnetic Resonance in Solid ^{3}He // Phys. Rev. Lett. — 1980. — Vol. 44, Iss. 12. — P. 792–795.

1981

Tikhonov A. N., Khomutov G. B., Ruuge E. K., Blumenfeld L. A. Electron transport control in chloroplasts. Effects of photosynthetic control monitored by the intrathylakoid pH // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. — 1981. — Vol. 637, No 2. — P. 321–333. (Л. Блюменфельд отмечен Премией имени В.В. Воеводского за вклад в изучение строения и свойств парамагнитных интермедиатов в биологических системах.)

1982

Froncisz W., Hyde J. S. The loop-gap resonator: a new microwave lumped circuit ESR sample structure // J. Magn. Res. — 1982. — Vol. 47. — P. 515–521. (Дж. Хайд отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в создание приборов и методологии электронного парамагнитного резонанса.)

Khramtsov V. V., Weiner L. M., Grigoriev I. A., Volodarsky L. B. Proton exchange in stable nitroxyl radicals. EPR study of the pH of aqueous solutions // Chemical Physics Letters. — 1982. — Vol. 91, No 1. — P. 69–72. (Л. Володарский отмечен Премией имени В. В. Воеводского за вклад в химию стабильных нитроксильных радикалов, раскрывших широкое поле применения методов ЭПР.)

1984

Milov A. D., *Ponomarev A. B.*, *Tsvetkov Y. D.* Electron-electron double resonance in electron spin echo: model biradical systems and the sensitized photolysis of decalin // Chem. Phys. Lett. — 1984. — Vol. 110, No 1. — P. 67–72. (Ю. Цветков отмечен Премией имени В.В. Воеводского и Премией имени Е. К. Завойского за вклад в применение импульсных методов ЭПР для исследования структуры неупорядоченных систем.)

1985

Caravatti P., *Neuenschwander P.*, *Ernst R. R.* Characterization of heterogeneous polymer blends by two-dimensional proton spin diffusion spectroscopy // Macromolecules. — 1985. — Vol. 18, No 1. — P. 119–122.

1986

Lippmaa E., *Samoson A.*, *Mägi M.* High-resolution ^{27}Al NMR of Aluminosilicates // J. Am. Chem. Soc. — 1986. — Vol. 108. — P. 1730–1735. *AMPERE Prize*

1987

Buckley C. D., *Hunter D. A.*, *Hore P. J.*, *McLauchlan K. A.* Electron spin resonance of spin-correlated radical pairs // Chem. Phys. Lett. — 1987. — Vol. 135, No 3. — P. 307–312. (К. МакЛохлан отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в идентификацию короткоживущих радикалов после их образования в лазерной вспышке.)

1989

Evelo R. G., Styring S., *Rutherford A. W.*, *Hoff A. J.* EPR relaxation measurements of Photosystem II reaction centers: Influence of S-state oxidation and temperature // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. — 1989. — Vol. 973, No 3. — P. 428–442. (А. Хофф отмечен Премией имени В. В. Воеводского за вклад в изучение первичных фотохимических процессов превращения энергии в ходе фотосинтеза методами радиоспектроскопии.)

Samoson A., *Pines A.* Double rotor for solid-state NMR // Rev. Sci. Instrum. — 1989. — Vol. 60, No 10. — P. 3239–3241. (Двойное вращение устраняет (или уменьшает) уширение линии как из-за дипольного взаимодействия и так и из-за квадрупольных эффектов.)

1990

Hurd R. E. Gradient enhanced spectroscopy // J. Magn. Res. — 1990. — Vol. 87. — P. 422–428.

1991

Bresgunov A. Y., *Dubinskii A. A.*, *Krimov V. N.*, *Petrov Y. G.*, *Poluektov O. G.*, *Lebedev Y. S.* Pulsed EPR in 2-mm band // Applied Magn. Res. — 1991. —

Vol. 2, No 4. — P. 715–728. (Я. Лебедев отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие новых методов ЭПР и их применений в химии.)

Schweiger A. Pulsed Electron Spin Resonance Spectroscopy: Basic Principles, Techniques, and Examples of Applications [New Analytical Methods (43)] // Angewandte Chemie International Edition in English. — 1991. — Vol. 30, No 3. — P. 265–292. (А. Швайгер отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие импульсного электронного парамагнитного резонанса.)

1992

Burghaus O., Rohrer M., Gotzinger T., Plato M., Mobius K. A novel high-field/high-frequency EPR and ENDOR spectrometer operating at 3 mm wavelength // Meas. Sci. Technol. — 1992. — Vol. 3, No 8. — P. 765–774. (К. Мёбиус отмечен Премией имени В.В. Воеводского и Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие новых методов ЭПР и их применений в химии.)

1995

Tolman J.R., Flanagan J.M., Kennedy M.A., Prestegard J.H. Nuclear magnetic dipole interactions in field-oriented proteins: information for structure determination in solution // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1995. — Vol. 92. — P. 9279–9283.

Yakimchenko O.E., Degtyarev E.N., Parmon V. N., & Lebedev Y.S. Diffusion in porous catalyst grains as studied by EPR imaging // The Journal of Physical Chemistry. — 1995. — Vol. 99(7). — P. 2038–2041.

1996

Dikanov S.A., Xun L., Karpiel A.B., Tyryshkin A.M., Bowman M.K. Orientationally-selected two-dimensional ESEEM spectroscopy of the Rieske-type iron– sulfur cluster in 2, 4, 5-trichlorophenoxyacetate monooxygenase from Burkholderia cepacia AC1100 // J. Am. Chem. Soc. — 1996. — Vol. 118, No 35. — P. 8408–8416. (М. Боуман отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие импульсного электронного парамагнитного резонанса и его приложений в радиационной химии и молекулярной биофизике.)

Dios de A.C. Ab initio calculations of the NMR chemical shift // Journal of Progress in Nuclear Magnetic Spectroscopy. — 1996. — Vol. 29. — P. 229–278.

1997

Mizuochi N., Ohba Y., Yamauchi S. A two-dimensional EPR nutation study on excited multiplet states of fullerene linked to a nitroxide radical // J. Phys. Chem. A. — 1997. — Vol. 101, No 34. — P. 5966–5968. (С. Ямаучи отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в исследования электронной

структуры возбужденных состояний органических и металло-органических комплексов методами многочастотной время-разрешенной спектроскопии электронного парамагнитного резонанса.)

Van der Est A., *Prisner T.*, *Bittl R.*, *Fromme P.*, *Lubitz W.*, *Mobius K.*, *Stehlik D.* Time-Resolved X-, K-, and W-Band EPR of the Radical Pair State $P^{\bullet+}_{700}$ $Q^{\bullet}_{A}$ of Photosystem I in Comparison with $P^{\bullet+}_{865}$ $Q^{\bullet}_{A}$ in Bacterial Reaction Centers // J. Phys. Chem. B. — 1997. — Vol. 101, No 8. — P. 1437–1443. (Любитц отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие многочастотной ЭПР спектроскопии фотосинтеза бактерий и растений.)

Pervushin K., *Riek R.*, *Wider G.*, *Wütrich K.* Attenuated T_2 relaxation by mutual cancellation of dipole-dipole coupling and chemical shift anisotropy indicates an avenue to NMR structures of very long biological macromolecules insolation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1997. — Vol. 94. — P. 12 366–12 371.

1998

Milov A. D., *Maryasov A. G.*, *Tsvetkov Y. D.* Pulsed electron double resonance (PELDOR) and its applications in free-radicals research // Applied Magnetic Resonance. — 1998. — Vol. 15, No 1. — P. 107–143.

Rohrer M., *MacMillan F.*, *Prisner T. F.*, *Gardiner A. T.*, *Möbius K.*, *Lubitz W.* Pulsed ENDOR at 95 GHz on the primary acceptor ubisemiquinone in photosynthetic bacterial reaction centers and related model systems // J. Phys. Chem. B. — 1998. — Vol. 102(23). — P. 4648–4657.

Провоторов Б. Н., *Кулагина Т. П.*, *Карнаух Г. Е.* Кинетика магнитных диполей и единая теория спектров ЯМР в конденсированном веществе // ЖЭТФ. — 1998. — Т. 13, вып. 3. — С. 967–980.

1999

Helgaker T., *Jaszuński M.*, *Ruud K.* Ab initio methods for the calculation of NMR shielding and indirect spin-spin coupling constants // Chem. Rev. — 1999. — Vol. 99. — P. 293–352.

Salikhov K. M., *van der Est A.*, *Stehlik D.* The Transient EPR Spectra and Spin Dynamics of Coupled Three-Spin Systems in Photosynthetic Reaction Centers // Appl. Magn. Reson. — 1999. — Vol. 16. — P. 101–134. (К. Салихов и Д. Штелик отмечены Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие теории ЭПР и ее применения для решения проблем химии и биохимии (К. Салихов также отмечен Премией имени В. В. Воеводского).)

2000

del Barco E., *Hernandez J. M.*, *Tejada J.* High-frequency resonant experiments in Fe_8 molecular clusters // 2000. — Vol. 62, No 5. — P. 3018–3021.

Larionov A. A., *Fedichkin L. E.*, *Kokin A. A.*, *& Valiev K. A.* The nuclear magnetic resonance spectrum of 31P donors in a silicon quantum computer // Nanotechnology. — 2000. — Vol. 11(4). — P. 392.

Pannier M., Veit S., Godt A., Jeschke G., Spiess H. W. Dead-time free measurement of dipole–dipole interactions between electron spins // J. Magn. Res. — 2000. — Vol. 142, No 2. — P. 331–340. (Х. Шписс отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в методологию импульсного магнитного резонанса для выявления структуры, порядка и динамики супрамолекулярных систем.)

Peloquin J. M., Campbell K. A., Randall D. W., Evanchik M. A., Pecoraro V. L., Armstrong W. H., Britt R. D. ^{55}Mn ENDOR of the S_2-state multiline EPR signal of photosystem II: implications on the structure of the tetranuclear Mn cluster // Journal of the American Chemical Soc. — 2000. — Vol. 122, No 44. — P. 10926–10942. (Д. Пеллоквин отмечен Премией имени Е. К. Завойского за новаторское применение методологии ЭПР для изучения металлоферментов.)

Еремин М. В., Еремина Р. М., Гафуров М. Р., Иваньшин В. А., Куркин И. Н., Курзин С. П., Келлер Х., Гутман М. Электронный парамагнитный резонанс с $g_{\mathrm{eff}} \sim 4.2$ в $YBa_2Cu_3O_{6.35}$. Модель цепочечных медно-кислородных фрагментов // ЖЭТФ. — 2000. — Т. 117. — С. 411–419.

2001

Bleaney B. Magneto-electric resonance // Applied Magnetic Resonance. — 2001. — Vol. 20, No 1–2. — P. 203–205.

Van der Waals J. H. EPR of photo-excited triplet states: a personal account // Applied Magnetic Resonance. — 2001. — Vol. 20, No 4. — P. 545–561.

Davydov R., Makris T. M., Kofman V., Werst D. E., Sligar S. G., Hoffman B. M. Hydroxylation of camphor by reduced oxy-cytochrome P450cam: mechanistic implications of EPR and ENDOR studies of catalytic intermediates in native and mutant enzymes // J. Am. Chem. Soc. — 2001. — Vol. 123, No 7. — P. 1403–1415. (Б. Хоффман отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в фундаментальные исследования металло-энзимов, их каталитических промежуточных соединений и переноса электронов между протеинами.)

2003

Ardenkjaer-Larsen J. H., Fridlund B., Gram A., Hansson G., Hansson L., Lerche M. H., Servin R., Thaning M., Golman K. Increase in signal-to-noise ratio of >10,000 times in liquid-state NMR // PNAS. — 2003. — Vol. 100, No 18. — P. 10 158–10 163.

Gatteschi D., Sessoli R. Quantum tunneling of magnetization and related phenomena in molecular materials // Angewandte Chemie International Edition. — 2003. — Vol. 42, No 3. — P. 268–297. (Д. Гаттески отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в понимание природы мономолекулярных магнитов.)

2004

Fel'dman E. B., Rudavets M. G. NMR line shapes of a gas of nuclear spin-1/2 molecules in fluctuating nano-containers // Chem. Phys. Lett. — 2004. — Vol. 396. — P. 458–464.

Glazkov V.N., *Smirnov A.I.*, *Krug von Nidda H.-A.*, *Loidl A.*, *Uchinokura K. and Masuda T.* Field-controlled phase the impurity-induced magnetic ordering in the spin-Peierls magnet $CuGeO_3$ // cond-mat/0404715 (April 2004).

Hu K.-N., *Yu Hsiao-hua*, *Swager T.M.*, *Griffin R.G.* Dynamic Nuclear Polarization with Biradicals // J. Am. Chem. Soc. — 2004. — Vol. 726. — P. 10844–10845. (Первая публикация по ДПЯ образцов допированных бирадикалами показала эффективность новой методики получения кросс-эффекта ДПЯ. (The first publication on DNP of samples doped with biradicals showed the effectiveness of a new technique for obtaining the cross-effect of the DNP.))

Hughes C.E. Spin counting // Progress in Nucl. Magn. Reson. Spectrosc. — 2004. — Vol. 45. — P. 301–313.

Ruden A.T., *Helgaker T.*, *Jaszuński M.* Ab Initio Methods for Calculation of NMR Shielding and Indirect Spin-Spin Coupling Constants // Chem. Phys. — 2004. — Vol. 296. — P. 53–56.

2005

Kalneus E.U., *Stass D.V.*, *Molin Yu.N.* Typical applications of MARY spectroscopy: radical ions of substituted benzenes // Applied Magnetic Resonance. — 2005. — Vol. 28, No 3–4. — P. 213–229.

Kay L.E. NMR studies of protein structure and dynamics // Journal of Magnetic Resonance. — 2005. — Vol. 173. — P. 193–207.

Nishida S., *Morita Y.*, *Fukui K.*, *Sato K.*, *Shiomi D.*, *Takui T.*, *Nakasuji K.* Spin Transfer and Solvato-/Thermochromism Induced by Intramolecular Electron Transfer in a Purely Organic Open-Shell System // Angewandte Chemie. — 2005. — Vol. 117, No 44. — P. 7443–7446. (Т. Такуи отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие органических молекул с высоким спином и открытой оболочкой и их квантовой спиновой технологии на основе ЭПР.)

2006

Mehring M., *Mende J.* Spin-bus concept of spin quantum computing // Phys. Rev. A. — 2006. — Vol. 73, No 5. — Id. 052303. (М. Меринг отмечен Премией имени Е.К. Завойского за вклад в развитие методов импульсного двойного электронно-ядерного резонанса и концепции квантовых вычислений на электронных и ядерных спинах.)

2007

Dzheparov F.S. Spin dynamics in disordered solids // J. superconductivity and novel magnetism. — 2007. — Vol. 20, No 2. — P. 161–168.

Noginova N., *Chen F.*, *Weaver T.*, *Giannelis E.P.*, *Bourlinos A.B.*, *Atsarkin V.A.* Magnetic resonance in nanoparticles: between ferro- and paramagnetism // J. Phys. Cond. matt. — 2007. — Vol. 19, No 24. — P. 246208.

Raitsimring A.M., *Gunanathan C.*, *Potapov A.*, *Efremenko I.*, *Martin J.M.*, *Milstein D.*, *Goldfarb D.* Gd3+ complexes as potential spin labels for high field

pulsed EPR distance measurements // Journal of the American Chemical Society. — 2007. — Vol. 129, No 46. — P. 14 138–14 139. (Д. Гольдфарб отмечена Премией имени Е.К. Завойского за вклад в методологию импульсного высокополевого двойного электронно-ядерного резонанса и его приложения к изучению металлопротеинов и цеолитов; А. Райцимринг отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие импульсного электронного парамагнитного резонанса и его приложений в радиационной химии и молекулярной биофизике.)

Swartz H. M., *Khan N.*, *Khramtsov V. V.* Use of electron paramagnetic resonance spectroscopy to evaluate the redox state in vivo // Antioxidants & Redox Signaling. — 2007. — Vol. 9, No 10. — P. 1757–1772. (Х. М. Шварц отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие in vivo ЭПР спиновых ловушек и ЭПР оксиметрии для клинических приложений.)

2008

Applied Magnetic Resonance. — 2008. — Vol. 34, No 3–4. — P. 213–544.

2009

Harmer J., *Mitrikas G.*, *& Schweiger A.* (2009). Advanced pulse EPR methods for the characterization of metalloproteins. In High resolution EPR (pp. 13–61). Springer, New York, NY.

2010

Baranov P. G., *Orlinskii S. B.*, *de Mello Donegá C.*, *Schmidt J.* High-frequency EPR and ENDOR spectroscopy on semiconductor quantum dots // Applied Magnetic Resonance. — 2010. — Vol. 39, No 1–2. — P. 151–183. (Я. Шмидт отмечен Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие методов высокополевого и высокочастотного электронного парамагнитного резонанса и двойного электронно-ядерного резонанса в приложениях к исследованию полупроводниковых наноматериалов.)

2014

Goldfarb D. Gd3+ spin labeling for distance measurements by pulse EPR spectroscopy // Phys. Chem. Chem. Phys. — 2014. — Vol. 16, No 21. — P. 9685–9699. (Д. Гольдфарб отмечена Премией имени Е.К. Завойского за вклад в методологию импульсного высокополевого двойного электронно-ядерного резонанса и его приложения к изучению металлопротеинов и цеолитов.)

2015

Kobori Y., *Ponomarenko N.*, *& Norris Jr. J. R.* Time-Resolved Electron Paramagnetic Resonance Study on Cofactor Geometries and Electronic Couplings after Primary Charge Separations in the Photosynthetic Reaction Center // The Journal of Physical Chemistry C. — 2015. — Vol. 119(15). — P. 8078–8088.

Joseph B., *Sikora A.*, *Bordignon E.*, *Jeschke G.*, Cafiso D. S., *Prisner T. F.* Distance measurement on an endogenous membrane transporter in E. coli cells and native membranes using EPR spectroscopy // Angewandte Chemie. — 2015. — Vol. 127, No 21. — P. 6294–6297. (Т. Приснер и Г. Ешке отмечены Премией имени Е. К. Завойского за вклад в развитие современных методов высокочастотного и многочастотных методов электронного парамагнитного резонанса.)

2017

Hyde J. S., & *Mett R. R.* EPR Uniform Field Signal Enhancement by Dielectric Tubes in Cavities // Applied magnetic resonance. — 2017. — Vol. 48(11–12). — P. 1185–1204.

Nalepa A., *Malferrari M.*, *Lubitz W.*, *Venturoli G.*, *Möbius K.*, *& Savitsky A.* Local water sensing: water exchange in bacterial photosynthetic reaction centers embedded in a trehalose glass studied using multiresonance EPR // Physical Chemistry Chemical Physics. — 2017. — Vol. 19(41). — P. 28 388–28 400.

Srivastava M., *& Freed J. H.* Singular Value Decomposition Method to Determine Distance Distributions in Pulsed Dipolar Electron Spin Resonance // The journal of physical chemistry letters. — 2017. — Vol. 8(22). — P. 5648–5655.

Приложение

Авторский индекс к разделу «Оригинальные статьи с 1944 г.» и к вкладу авторов этих публикаций в раздел «Монографии, обзоры и тематические сборники»

I. Публикации на европейских языках

II. Русскоязычные публикации

Научное издание

КЕССЕНИХ Александр Владимирович
ПТУШЕНКО Василий Витальевич

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ИНТЕРЬЕРЕ ВЕКА: БИОГРАФИИ И ПУБЛИКАЦИИ

Редактор *В.Р. Игнатова*
Оригинал-макет: *Н.С. Агафонова*
Оформление переплета: *В.Ф. Киселев*

Подписано в печать 22.10.2019. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 17. Тираж 100 экз.
Заказ №

Издательская фирма «Физико-математическая литература»
МАИК «Наука/Интерпериодика»
117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17 Б
E-mail: porsova@fml.ru, sale@fml.ru
Сайт: http://www.fml.ru
Интернет-магазин: http://www.fmllib.ru

Отпечатано с электронных носителей издательства
в ООО «Типография «Перфектум»
428000, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, 52

ISBN 978-5-9221-1855-2
9 785922 118552